

31  
24.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
"ACATLAN"**

**UTILIZACION DE PRODUCTOS  
ASFALTICOS PARA LA CONSTRUCCION  
DE CARPETAS FLEXIBLES**

**TESIS PROFESIONAL**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :  
INGENIERO CIVIL**

**P R E S E N T A  
FRANCISCO JAVIER MEZA OVALLE**



**MEXICO, D. F.**



**ENERO 1997**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"  
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

SR. JAVIER FCO. MEZA OVALLE  
ALUMNO DE LA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL  
P R E S E N T E .

De acuerdo a su solicitud presentada con fecha 8 de Febrero de 1994 , me complace notificarle que esta Jefatura de Programa tuvo a bien asignarle el siguiente tema de tesis titulado "UTILIZACION DE PRODUCTOS ASFALTICOS EN LA CONSTRUCCION DE CARPETAS FLEXIBLES" que el cual se desarrollar como sigue

- Introducción
- I Generalidades
- II Productos asfálticos aplicados en carpetas flexibles
- III Utilización de mezclas asfálticas para construcción de carpetas flexibles
- IV Nuevos productos para la construcción de carpetas flexibles
- Conclusiones

Asi mismo fue designado como asesor de tesis el Ing Francisco Anzures Rosas , profesor de esta escuela. Ruego a usted, tomar nota en cumplimiento de lo especificado en la Ley de profesiones, deber prestar Servicio Social durante un tiempo minimo de seis meses, como requisito básico para sustentar examen profesional, así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el titulo del trabajo realizado. Esta comunicación deber imprimirse en el interior de la tesis.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPERITU"  
Acatlán Edo. de México a 14 de Mayo de 1996

Ing. Carlos Rosales Aguilar,  
Jefe del Programa de Ingeniería Civil



EN P. ACATLAN  
JEFATURA DEL  
PROGRAMA DE INGENIERIA

UTILIZACION DE PRODUCTOS ASFALTICOS PARA  
LA CONSTRUCCION DE CARPETAS FLEXIBLES

INTRODUCCION

CAPITULO I GENERALIDADES

- 1.1 Definición del asfalto
- 1.2 Características del asfalto
- 1.3 Reseña histórica
- 1.4 Origen y teorías
  - 1.4.1 Roca asfáltica
  - 1.4.2 Asfalto natural
- 1.5 Productos asfálticos que se obtienen a partir del petróleo
  - 1.5.1 Cementos asfálticos y asfaltos oxidados o sopiados
  - 1.5.2 Asfaltos rebajados
  - 1.5.3 Emulsiones asfálticas

CAPITULO II PRODUCTOS ASFALTICOS APLICADOS EN CARPETAS  
FLEXIBLES

- 2.1 Generalidades
- 2.2 Cementos asfálticos
  - 2.2.1 Propiedades y aplicaciones
  - 2.2.2 Temperaturas recomendables de aplicación
- 2.2.3 Normas de calidad
- 2.3 Asfaltos rebajados
  - 2.3.1 Clasificación y tipos
  - 2.3.2 Propiedades y aplicaciones
  - 2.3.3 Temperaturas recomendables de aplicación
- 2.3.4 Normas de calidad
- 2.4 Emulsiones asfálticas
  - 2.4.1 Propiedades y aplicaciones
  - 2.4.2 Emulsiones aniónicas y catiónicas
  - 2.4.3 Ventajas que presentan
  - 2.4.4 Normas de calidad

### **CAPITULO III UTILIZACION DE MEZCLAS ASFALTICAS PARA LA CONSTRUCCION DE CARPETAS FLEXIBLES**

- 3.1** Propiedades de los agregados pétreos
- 3.1.1** Pruebas de laboratorio para agregados pétreos
- 3.1.2** Contenido de cemento asfáltico para carpetas
- 3.2** Carpetas asfálticas de 1,2 y 3 riegos
- 3.2.1** Ejecución de los riegos con agregados
- 3.2.2** Aplicaciones
- 3.3** Procedimiento de construcción de mezclas en frío
- 3.3.1** Carpeta de mezcla elaborada en el lugar
- 3.3.2** Carpeta de mezcla elaborada en planta móvil
- 3.3.3** Aplicaciones
- 3.4** Procedimiento de construcción de la mezcla elaborada en caliente (concreto asfáltico)
- 3.4.1** Carpeta de mezcla elaborada en planta fija
- 3.4.2** Aplicaciones

### **CAPITULO IV NUEVOS PRODUCTOS PARA LA CONSTRUCCION DE CARPETAS FLEXIBLES**

- 4.1** Gilsonita un modificador para pavimentos
- 4.1.1** Generalidades
- 4.1.2** Experimentación en campo
- 4.2** Asfalto ahulado
- 4.2.1** Descripción
- 4.3** Asfalto con polímeros
- 4.3.1** Generalidades
- 4.3.2** Selección de polímero
- 4.4** Innovaciones en emulsiones asfálticas
- 4.4.1** Generalidades
- 4.4.2** Innovaciones en los ligantes asfálticos

**CONCLUSIONES**

**BIBLIOGRAFIA**

## INTRODUCCION

En la construcción de pavimentos, la calidad de las capas que la forman debe ser mayor a medida que se acerca a la resante. Esto trae como consecuencia que las capas superiores sean construidas con procedimientos tales que se garanticen la calidad esperada.

Por lo tanto, la calidad de las mezclas asfálticas, esta en función directa del procedimiento y equipo de elaboración de éstas.

Las mezclas asfálticas elaboradas en planta, son de una calidad superior a las construidas por otros procedimientos es por esto, que tiene una especial importancia, para el constructor de pavimentos, el conocimiento detallado del funcionamiento de las plantas para elaboración de mezclas asfálticas.

Estas plantas pueden ser desde simples mezcladoras hasta dosificadoras que son accionadas por una computadora.

## CAPITULO 1 GENERALIDADES

### 1.1 DEFINICION DEL ASFALTO

El asfalto puede definirse como un material de color oscuro, con cualidades aglutinantes, compuesto esencialmente de hidrocarburos casi en su totalidad soluble en bisulfuro de carbono, sólido o semisólido a las temperaturas ambiente ordinarias y que se licúa gradualmente al calentarse.

El asfalto es parte integrante de muchos petróleos en los cuales existe en solución. Cuando se refinan dichos petróleos para separar las fracciones volátiles el residuo que queda es asfalto.

Procesos análogos ocurren en la naturaleza que han formado depósitos naturales de asfalto, algunos practicamente libres de materias extrañas y otros en que el asfalto se encuentra mezclado con cantidades variables de ciertos minerales, agua y otras sustancias.

Los depósitos naturales en que el asfalto se presenta dentro de la estructura de una roca porosa se conocen comunmente con el nombre de asfaltos de roca o también como rocas asfálticas.

### 1.2 CARACTERISTICAS DEL ASFALTO

El asfalto es de particular interes al ingeniero porque es un material fuertemente cementante, altamente adhesivo,

impermeable y durable. Es una sustancia teroplástica, que imparte flexibilidad controlable a las mezclas de agregados minerales con los cuales se combina.

Es además muy resistente a la acción de la mayor parte de los Alcalis, Ácidos y sales. Puede ser licuado aplicándole calor, disolviéndolo en derivados del petróleo de distinta volatilidad o bien, emulsificándolo en agua.

### 1.3 RESEÑA HISTORICA

El asfalto es uno de los materiales más antiguos que se conocen. Se han encontrado esqueletos intactos de animales prehistóricos en depósitos superficiales de asfalto, como el que existe en la Brea, cerca de los Angeles, California.

Recientes excavaciones arqueológicas muestran el extenso uso del asfalto en los valles de la Mesopotamia y del Indo, entre los años 3200 a 504 A.C., como un material cementante para la construcción de ramposterías y de caminos, y así como impermeabilizante para baños en los templos y otros depósitos de agua.

Se dice que Noé lo usó, para calafatear su arca y que también se empleó para sellar la cesta en que Moisés, siendo niño fue depositado en las aguas del Nilo.

Por el año 300 A.C. los Egipcios utilizaban ampliamente el asfalto para los tratamientos de preservación y momificación de sus muertos. Los indios de América lo empleaban para

impermeabilizar sus canoas antes de que el hombre blanco llegará al nuevo continente; en México, los Totonacas de la región de Papantla lo recogía de la superficie de las aguas para utilizarlo como medicina y como incienso para sus ritos; algunas tribus que habitaron las costas mexicanas lo masticaban para limpiar y blanquear su dentadura.

En el año 1802 de nuestra era, se usó asfalto de roca en Francia para el terminado superficial de pisos, puentes y banquetas.

En 1838 se utilizó asfalto de roca importado para la construcción de banquetas en Filadelfia, Estados Unidos, y en 1870 se colocó el primer pavimento asfáltico en dicho país, en la población de Newark, Nueva Jersey, por el químico belga E.J.Demat, que usó roca asfáltica importada del valle del Ródano en Francia. En 1876 se aplicó la primera capa de mezcla asfáltica con arena en la ciudad de Washington D.C. utilizando la roca asfáltica mencionada y también asfalto importado del lago Trinidad cerca de Venezuela.

Los asfaltos empleados en estos primeros trabajos de pavimentación fueron desde luego asfaltos naturales, es decir, asfaltos que se encuentran en la naturaleza en forma de yacimientos y que podían explotarse sin dificultad y sin requerir complicadas operaciones industriales para su preparación.

El uso de asfalto procedente de la destilación de petróleo se inició en los Estados Unidos en la segunda mitad del siglo XIX contándose con las primeras refinerías por el año de 1886.

El primer pozo petrolero de América se perforó en 1859, cerca de la población de Titusville, Pennsylvania.

En 1902, ya se obtenían del orden de 20 000 toneladas de asfalto producto de la refinación del petróleo.

A partir del año de 1926 con el desarrollo de la industria automotriz y debido a la necesidad de contar con mejores caminos y calles para el tránsito de vehículos, la utilización del asfalto derivado del petróleo ha tenido un aumento anual sostenido en todas partes del mundo, sobre todo en los países industrializados.

En México, el uso generalizado del asfalto se inició por el año 1925, al emprenderse la construcción de los primeros caminos pavimentados, como consecuencia del aumento de vehículos automotores, no obstante que de años atrás existían ya empresas extranjeras que explotaban y exportaban grandes cantidades de petróleo crudo de nuestro país, en el que la explotación petrolera comenzó en forma incipiente a partir de 1900, haciéndose en forma sistemática y organizada a partir de 1942. En el año de 1914 se usaron en Estados Unidos más de 300.000 toneladas de asfaltos procedentes de crudos mexicanos.

El primer pozo petrolero propiamente dicho se perforó en México en mayo de 1901, en la región de El Ebano, S.L.P.

#### 1.4 ORIGEN Y TEORIAS

Se ha mencionado anteriormente que las fuentes de donde procede el asfalto son los depósitos naturales y el petróleo crudo; de éste se extrae después de obtener las fracciones volátiles sometiéndolo a refinación o destilación puesto que los asfaltos naturales provienen de un proceso natural de destilación o transformación del petróleo lo que realmente estaría en discusión es el origen del propio petróleo.

No se sabe exactamente cómo se forma el petróleo en el subsuelo. Las teorías sobre su origen son muchas y aún se siguen discutiendo hasta la fecha. Algunos investigadores defienden el origen mineral o inorgánico del petróleo y explican su forma de diversas maneras como las siguientes:

- a) Bajo la superficie terrestre existen carburos metálicos que en contacto con el agua se descomponen produciendo hidrocarburos, los que al condensarse en estratos superiores más fríos, dieron lugar al petróleo.
- b) Los metales alcalinos que se encuentran en estado libre en el interior de la Tierra reaccionan con el dióxido de carbono a altas temperaturas y éstos reaccionan, en contacto con el agua producen los hidrocarburos que constituyen el petróleo.

Otros investigadores se inclinan por el origen orgánico del petróleo, sosteniendo que proviene de la descomposición de residuos animales y vegetales que se han transformado en aceite. Este origen se estima más razonable.

Al comprobarse que los estratos en que se ha formado el petróleo no han estado nunca a temperaturas superiores a los 38 grados centígrados lo que descarta la teoría del origen inorgánico, ya que la obtención a partir de carburos metálicos requiere temperaturas mucho más elevadas.

Los estudios reciente hechos en el laboratorio analizando rocas petrolíferas de campos productores, parecen confirmar un origen orgánico, ya que se han encontrado de ellas ciertas propiedades ópticas que sólo se localizan en sustancias orgánicas; por otro lado, el contenido de nitrógeno y otras sustancias en el petróleo, solamente puede proceder de materiales orgánicos. También pueden confirmar el origen orgánico, el hecho de que la mayor parte de los yacimientos de petróleo en el mundo se localizan en lugares que fueron ocupados por lagos y mares hace millones de años.

#### 1.4.1 ROCA ASFALTICA

Es una roca porosa que se encuentra en la naturaleza con cierto grado de impregnación asfáltica.

En un proceso que ocurre en la naturaleza han formado depósitos naturales de asfalto, algunos prácticamente libres de materias extrañas y otros en que el asfalto se encuentra mezclado con cantidad variable de ciertas minerales, aguas y otras sustancias. Los depósitos naturales que el asfalto se presenta dentro de la estructura de una roca porosa se conocen comúnmente

con el nombre de asfaltos de roca o también como rocas asfálticas.

#### 1.4.2 ASFALTO NATURAL

Es un asfalto que se obtiene por el proceso natural de la evaporación o destilación y se forma cuando el petróleo sube hasta la superficie de la Tierra a través de grietas. Ya en la superficie, la acción conjunta de el sol y el aire separa los aceites ligeros y los gases dejando unos residuos que es el asfalto, el cual generalmente está impregnado con un cierto porcentaje de arcilla o arena muy fina que se adhiere al petróleo crudo durante el trayecto ascendente por las grietas a la superficie.

Los asfaltos naturales se manifiestan en diversas formas entre las cuales destacan las siguientes:

Manantiales. Se presentan en algunos lugares fuentes de las que fluye petróleo o asfalto líquido, generalmente en pequeña cantidad y provienen por lo común de depósitos de cierta importancia de materiales, de este tipo con salida al exterior por alguna grieta de la roca.

Lagos. A veces, manantiales como los descritos, pero de gran caudal, situados en el fondo de depresiones profundas, pueden dar lugar a la formación de lagos de asfalto, como el muy conocido de Trinidad, cerca de las costas de Venezuela, que es uno de los mayores yacimientos de asfalto nativo en el mundo. Su superficie

total es de unas 46 ha. La masa de asfalto en este lago está continuamente en movimiento desde el centro hasta los bordes, lo que se atribuye a la entrada continua en el lago, por la parte central, de la corriente de asfalto que lo forma. El material en su estado natural, es una emulsión de asfalto, gases, agua, arena y arcilla; para su mejor aprovechamiento, se somete a sencillos procesos y a refinación que le elimine las sustancias perjudiciales. Se dice que Colón usó asfalto de este lago Trinidad para calafatear sus barcos en sus viajes de regreso a España.

Impregnando rocas. Son bastante frecuentes los yacimientos de rocas más o menos porosas en las que el asfalto se encuentra llenando los poros, como ya se ha mencionado.

#### 1.5 PRODUCTOS ASFALTICOS QUE SE OBTIENEN A PARTIR DEL PETROLEO

La mayor parte del asfalto que se emplea hoy en día en América, proviene de la refinación del petróleo. El asfalto refinado se produce en una gran variedad de tipos desde los sólidos, duros y quebradizos hasta los fluidos casi tan líquidos como el agua. La forma semisólida conocida como cemento asfáltico es el material básico y puede considerarse como una combinación de asfalto duro y aceite no volátiles del petróleo.

Los tipos de productos asfálticos obtenidos por destilación directa del petróleo crudo son:

a) PETROLEO CRUDO

- Aceites volátiles
- Aceites de volatilización lenta
- Aceites no volátiles

b) ASFALTO RESIDUAL ASFALTICO

- Aceites de volatilización lenta
- Aceites no volátiles
- Asfalto duro

c) CEMENTO ASFALTICO

- Aceites no volátiles
- Asfalto duro

El petróleo crudo, que ha sido conducido a la refinería por un sistema de bombeo, es sometido a un proceso de destilación que está representado esquemáticamente en la figura 1.0

Mediante la elevación de temperatura y presión se logra una destilación fraccionada de los hidrocarburos que constituyen al petróleo quedando separados en función de sus densidades.

Los más ligeros se obtienen en la parte superior de la torre de destilación, y en la inferior se acumulan los productos más pesados que constituyen el residuo y que contienen los asfaltos. Mediante un proceso de refinación se obtiene la gasolina, a partir de los destilados ligeros. La kerosene al procesar los destilados medios y el aceite diesel de los destilados pesados.

El material residual se somete a un nuevo proceso de destilación en la que se hace una inyección de vapor obteniéndose dos productos: los aceites lubricantes y los cementos asfálticos.

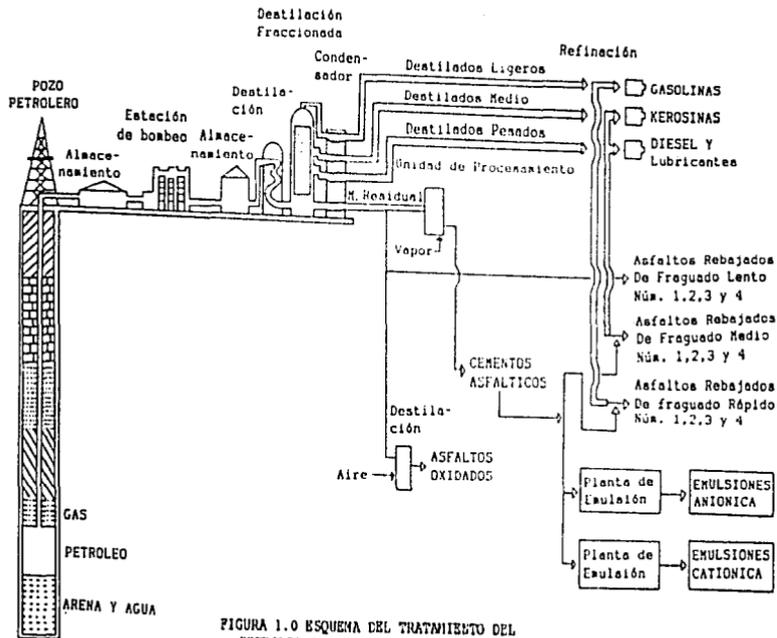


FIGURA 1.0 ESQUEMA DEL TRATAMIENTO DEL PETROLEO PARA OBTENER LOS DIVERSOS PRODUCTOS ASFALTICOS

### 1.5.1 CEMENTOS ASFALTICOS Y ASFALTOS OXIDADOS O SOPLADOS

La figura 1.0 es un esquema de la obtención del petróleo y del proceso de destilación a que se somete en las refinerías para obtener los diferentes materiales asfálticos.

El petróleo crudo se hace circular a gran presión y velocidad por una tubería situada en el interior de un horno que alcanza elevadas temperaturas. Calentándolo a las temperaturas apropiadas se le introduce a una torre de destilación en donde se vaporizan los componentes más ligeros o más volátiles, que son extraídos y sometidos a un proceso de condensación y de refinación para obtener de ellos naftas, gasolinas, kerosenas, aceites ligeros y una amplia gama de otros productos.

El residuo que queda de este primer proceso de separación de las fracciones más ligeras del petróleo, puede usarse como un aceite combustible o ser procesado de una variedad de formas. Si sus características son adecuadas y ha sido refinado para alcanzar una consistencia apropiada, puede servir como uno de los asfaltos rebajados de fraguado lento (FL), a los que a veces se les denomina aceites para caminos.

El mismo residuo, si se le reduce a una determinada consistencia y se le inyecta aire a elevada temperatura, se obtiene lo que se llama un asfalto soplado u oxidado, que tiene propiedades que permiten utilizarlo para una diversidad de aplicaciones y de productos industriales, que incluyen asfalto para impermeabilización de azoteas, esmaltes para recubrimiento

de tuberías, asfalto para el cuidado y levantamiento de pavimentos de concreto hidráulico que han sufrido asentamientos y muchos otros.

Cuando el residuo de la destilación reúne buenas características para producir asfalto de propiedades adecuadas para los trabajos de pavimentación y que generalmente es la mayor cantidad, se somete a un proceso de refinación para obtener el cemento asfáltico, que es por decirlo así, el asfalto básico para la elaboración de los demás materiales asfálticos utilizables en la construcción y conservación de obras viales. Existen dos métodos para la producción comercial del cemento asfáltico: el método de destilación y el método de extracción de solventes.

En el método de destilación, el residuo de la primera separación de las fracciones ligeras, se calienta a una temperatura adecuada y se alimenta a otra torre de destilación, en la que generalmente se produce un vacío parcial para facilitar el proceso. También se introduce a menudo vapor cerca del fondo de la torre, para abatir la presión parcial del sistema y ayudar a remover cualquier aceite ligero contenido en el asfalto. Se extraen las nuevas fracciones destiladas y el proceso se controla adecuadamente para producir un cemento asfáltico de la consistencia deseada.

El método de extracción de solventes, hace uso de una fracción ligera de hidrocarburos de limitado poder de disolución, tal como el propano líquido, se mezcla dicho solvente con el residuo de la primera destilación que se ha venido mencionando y

esto hace que se produzca una separación en dos fases: por un lado aceites y ceras y por el otro el asfalto. Un simple proceso de decantación permite separar las dos fases controlando adecuadamente la operación y se llega a obtener el cemento asfáltico de la consistencia requerida.

Es decir, el cemento asfáltico no es otra cosa que el asfalto que se ha definido a través de un proceso controlado de refinación del petróleo, que le imparte características adecuadas para emplearse en los trabajos de pavimentación. Es por lo tanto también un material sólido o semisólido a las temperaturas ambiente normales. Dependiendo de su consistencia o grado de dureza, existen varios tipos de cementos asfálticos.

Para utilizar el cemento asfáltico es necesario fluidificarlo mediante calentamiento a elevadas temperaturas. Si se requiere hacer mezclas o aplicaciones de asfalto en frío, habrá que licuar el cemento asfáltico por otros procedimientos, que consisten fundamentalmente en mezclarlos con solventes ligeros del petróleo, con lo que se obtienen los asfaltos rebajados, o emulsionario en agua, dando lugar a las emulsiones asfálticas.

#### 1.5.2 ASFALTOS REBAJADOS

Los asfaltos rebajados son mezclas de cemento asfáltico con fracciones ligeras del petróleo. Estas fracciones se denominan generalmente solventes o disolventes. Cuando el solvente es del tipo de la nafta o gasolina se obtienen los asfaltos rebajados de

fraguado rápido (FR). Si el solvente es semejante a la kerosena, se obtienen los asfaltos rebajados de fraguado medio (FM). La consistencia de estos productos está regida por las cantidades relativas y por las propiedades del solvente y del cemento asfáltico preentes. El otro tipo de asfalto rebajado está constituido por los de fraguado lento (FL), los cuales contienen cemento asfáltico y aceites ligeros; generalmente se obtienen directamente a partir del residuo de la primera destilación del petróleo, como ya se citó. El proceso de obtención de los diferentes tipos de asfaltos rebajados se lleva a cabo en las refinerías.

### 1.5.3 EMULSIONES ASFALTICAS

Las emulsiones asfálticas son dispersiones de diminutas glóbulos de asfalto en agua. Generalmente se requiere una pequeña cantidad de un agente activador de superficie o emulsificante, para ayudar a la referida dispersión. Los glóbulos de asfalto son extremadamente pequeños y casi enteramente de tamaño coloidal (del orden de 2 micras). Las emulsiones asfálticas se preparan en mezcladores de alta velocidad o molinos coloidales.

Se fabrican comercialmente dos tipos de emulsiones asfálticas: las emulsiones aniónicas y las emulsiones catiónicas. Los dos tipos se elaboran a partir de cementos asfálticos de determinadas consistencias. Una forma modificada de emulsión asfáltica puede fabricarse usando un asfalto líquido de fraguado

rápido, medio o lento. Estas son las llamadas emulsiones diversas, lo que indica que el agua es dispersada a la fase de asfalto, en vez de que el asfalto sea el que se dispersa en la fase acuosa.

Se usa una gran variedad de agentes emulsificantes para controlar las propiedades de las emulsiones asfálticas.

Por lo que las emulsiones asfálticas es un ligante o cementante asfáltico, en agua, en forma de pequeñas partículas con diámetro entre 3  $\mu$ m y 9  $\mu$ m. Al conjunto de pequeñas gotas de ligante asfáltico se le llama fase discontinua y al medio en el cual están dispersas, fase continua.

Para conseguir la dispersión de estos dos líquidos que no son miscibles entre sí, se utilizan agentes químicos denominados emulsionantes o emulsificantes.

Los componentes básicos de las emulsiones son:

- 1) Ligante o cementante asfáltico
- 2) Emulsionante
- 3) Agua
- 4) Aditivos

1) Los ligantes asfálticos más utilizados son:

- a) asfaltos de destilación
  - b) asfaltos fluidificados
  - c) mezclas de asfalto alquitrán
- a) Se obtienen en las refinerías como residuo de la columna de destilación por vacío de los crudos del petróleo, son los llamados cementos asfálticos.

- b) Son asfaltos de destilación a los que se les añade un solvente procedente de la destilación del petróleo en el primer caso y el de la destilación del alquitrán en el segundo.
- c) son ligantes cementantes modificados compuestos por mezclas de diversos productos.

2) Emulsionante: el emulsionante cumple una triple misión dentro de las emulsiones que son:

- a) Facilitar la dispersión del ligante asfáltico en el agua
- b) Conservar la emulsión como tal, en el tiempo. Esto se consigue al cargar las partículas de asfalto con cargas eléctricas que se repelen entre sí.
- c) Favorecer el cubrimiento de los agregados por el ligante asfáltico al estar éste cargado eléctricamente.

Según las características químicas de los mismos emulsificantes pueden ser aniónicos y catiónicos.

Los emulsionantes aniónicos son en general sales sódicas o potásicas de ácidos orgánicos.

Los emulsionantes catiónicos son los productos de reacción de ácidos inorgánicos fuertes (ácidos clorhídricos, principalmente).

3) Agua, el agua no necesita condiciones muy estrictas, salvo en las emulsiones de tipo aniónico, en la que hay que cuidar su dureza.

4) Aditivos, en algunos casos los emulsionantes pueden venir acompañados de aditivos, para mejorar algunas de las características de las emulsiones: viscosidad, adherencia etc.

## CAPITULO 2 PRODUCTOS ASFALTICOS APLICADOS EN CARPETAS FLEXIBLES

### 2.1 GENERALIDADES

Se denomina productos asfálticos a una gama de productos asfálticos que tienen en común su aspecto, color y poder aglomerante debiéndose estas similitudes a estar constituidos por una mezcla compleja de hidrocarburos de distintos tipos. Por lo cual se tienen grandes ventajas para poder hacer uso de los diferentes ligantes, de acuerdo a las necesidades que se requieran o se presenten.

### 2.2 CEMENTOS ASFALTICOS

Se ha mencionado que en la actualidad prácticamente todos los materiales asfálticos que se usan en los trabajos de pavimentación proceden del petróleo crudo, del cual se obtiene a través del proceso de refinación .

Se clasifican en cementos asfálticos, asfáltos rebajados y emulsiones asfálticas. El residuo que queda después de extraer el petróleo los solventes y aceites ligeros, se someten en la planta a algunos de los tratamientos que se han mencionado anteriormente, es decir, al método de destilación o al de extracción de solventes y aceites ligeros, se someten en la planta a algunos de los tratamientos que se han descrito de

destilación o al de extracción de solventes, con lo que se llega al cemento asfáltico, material sólido o semi-sólido a las temperaturas normales del ambiente.

Los asfaltos líquidos (asfaltos rebajados y emulsiones asfálticas) se fabrican fluidificando el cemento asfáltico, bien sea mediante la adición de solventes, con lo que se obtiene los asfaltos rebajados o emulsificándolo en agua, produciéndose las emulsiones asfálticas.

### 2.2.1 PROPIEDADES Y APLICACIONES

En México se tiene la posibilidad de utilizar 4 tipos o grados de cementos asfálticos, designados con los números 3, 6, 7, y 8 enumerados de mayor a menor grado de dureza, definida ésta por la prueba de penetración (100gr 25 °C .5 seg.).

Las propiedades de estos cementos asfálticos se determinan mediante las pruebas de penetración, viscosidad Saybolt-Furol, punto de inflamación, punto de reblandecimiento (anillo y esfera), ductilidad, solubilidad y prueba de la película delgada.

En los trabajos que se realizan en el país, los cementos asfálticos se emplean casi exclusivamente en la elaboración de concretos asfálticos para bases o carpetas de pavimento.

La fabricación, colocación y compactación del concreto asfáltico implica un trabajo cuidadoso, que requiere un control preciso sobre todo de temperaturas, que son las que rigen la viscosidad adecuada al cemento asfáltico.

### 2.2.2 TEMPERATURAS RECOMENDABLES DE APLICACION

La temperatura de aplicación del cemento asfáltico al hacer la mezcla debe de ser del orden de 120 a 160 ° C misma a la que debe someterse también el material pétreo. Se considera que a temperaturas menores de 120 ° C , el cemento asfáltico no tiene adecuadas propiedades para mojar y aglutinar debidamente las partículas del material pétreo y temperaturas mayores de 160 °C puede afectar seriamente sus características, al eliminarse los aceites ligeros que contiene y provocarsele por ese motivo un envejecimiento prematuro.

El concreto asfáltico debe compactarse a temperaturas mayores de 70 °C abajo de esta temperatura, el acabado del material es deficiente.

En México casi se emplea en forma única el cemento asfáltico número 6 que se ha encontrado que es adecuado para las condiciones climatológicas generales del País y para las características de resistencia de la mezcla.

Las carpetas de concreto asfáltico son las de mayor calidad y resistencia que se construyen y se utilizan en carreteras de alto tránsito, como las que convergen a la Ciudad de México y en aeropuertos importantes para tráfico de aeronaves pesadas.

### 2.2.3 NORMAS DE CALIDAD

En la tabla 1 se muestra las normas de calidad (SCT). Para los 4 tipos de cementos asfálticos disponibles en el país.

A continuación se mencionan las siguientes pruebas:

- a) Penetración
- b) Viscosidad Saybolt-Furol
- c) Punto de inflamación
- d) Punto de reblandecimiento
- e) Ductilidad
- f) Solubilidad en tetracloruro de carbono
- g) Prueba de la película delgada.

#### a) PENETRACION

Muchos de los productos asfálticos presentan normalmente, a temperaturas moderadas, viscosidades muy elevadas que no pueden medirse con los viscosímetros industriales.

Sin embargo, es muy importante tener una idea de las propiedades reológicas de estos asfaltos a temperatura ambiente pues sólo así puede saberse en la mayor parte de los casos cuál será su comportamiento una vez aplicado. La prueba generalmente empleada para la determinación de las propiedades de influencia de los productos asfálticos de viscosidad muy elevada es el de penetración. Consiste en permitir la penetración en el asfalto, durante un tiempo fijo y determinadas condiciones de temperaturas

TABLA 1 NORMAS DE CALIDAD PARA CEMENTOS ASPALTICOS

CARACTERISTICAS	GRADO DEL CEMENTO ASPALTICO			
	Núm. 3	Núm. 6	Núm. 7	Núm. 8
<b>PRUEBAS AL MATERIAL ASPALTICO</b>				
Penetración, 100 g, 5 segundos , 25 ° C, grados.....	100-200	80-100	60-70	40-50
Viscosidad Saybolt-Purol a 135 ° C, segs, mínimo.....	60	85	100	120
Punto de inflamación (copa abierta de Cleaveland), °C mínimo.....	220	232	232	232
Punto de reblandecimiento, ° C .....	37-43	45-52	48-56	52-60
Ductilidad , 25 ° C , cm, mínimo .....	60	100	100	100
<b>PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION</b>				
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento , mínimo.....	99.5	99.5	99.5	99.5
Prueba de la película delgada, 50 cm <sup>3</sup> , 5 h, 163 °C:				
Penetración retenida, por ciento, mínimo...	40	50	54	58
Pérdida por calentamiento, por ciento, máximo.....	1.4	1.0	0.8	0.8

y carga, de una aguja de dimensiones especificadas. La profundidad de penetración, expresada en decimas de milímetro, es lo que se designa como la penetración del asfalto.

Es una medida de la resistencia del asfalto a la deformación, por consiguiente, depende tanto de la viscosidad como de la posible elasticidad del asfalto el valor de la penetración varía desde luego con el peso que actúa sobre la aguja, con la temperatura a que se realiza la prueba y con el tiempo que dura, por lo que al indicar la penetración de un asfalto es necesario precisar siempre las condiciones del ensayo.

Generalmente se especifica un peso sobre la aguja de 100 gr una temperatura en el asfalto de 25°C y un tiempo de penetración de la aguja de 5 seg ver figura 2.

#### PRUEBA DE PENETRACION

se efectúa a los cementos asfálticos y al residuo de la destilación de los asfaltos rebajados de fraguado rápido y medio y de las emulsiones asfálticas. Se expresa en grados y corresponde al número de decimas de milímetro que una aguja de dimensiones especificadas, con una carga de 100 gr penetra en 5 segundos en la muestra de asfalto mantenido a la temperatura de 25 °C.

Es una prueba de clasificación de los cementos asfálticos principalmente, pero también de los asfaltos rebajados y de las emulsiones.

Asociada al punto de reblandecimiento la penetración permite conocer la susceptibilidad del asfalto y el índice de penetración, valor que define si el producto es apropiado para trabajos de pavimentación o no lo es.

La penetración se ve afectada en un asfalto que se somete a los efectos del intemperismo, reduciéndose con el tiempo de exposición, al endurecerse el producto. Da una buena idea del grado de alteración por oxidación que experimenta un asfalto en un determinado momento de su servicio en una obra, cuando la prueba se hace recuperando el asfalto de la mezcla en que está trabajando. La rigidez de una carpeta y su falla por agrietamiento puede deberse al endurecimiento que ha sufrido el asfalto, revelando a través de esta prueba. Para evitar el agrietamiento de una carpeta por efecto del endurecimiento del asfalto se recomienda generalmente usar asfaltos suaves o de altas penetraciones, sin detrimento de la adecuada estabilidad de la mezcla.

#### b) VISCOSIDAD SAYBOLT-FUROL

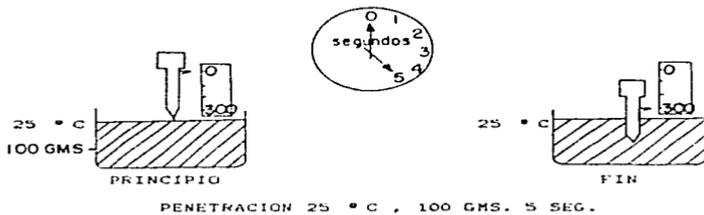
La viscosidad se define como la resistencia que presente un material a ser deformado y se debe al rozamiento o fricción interna de sus moléculas.

**PRUEBA DE LA VISCOSIDAD SAYBOLT-FUROL**

La prueba de viscosidad mediante viscosímetros Saybolt-Furol mide la resistencia al flujo que presenta el asfalto a una temperatura cerca a la aplicación, expresada en función del tiempo que tardan 60 cm<sup>3</sup> de la muestra en pasar por el orificio Furol. La prueba se aplica a los cementos asfálticos, asfaltos rebajados y emulsiones asfálticas. En el momento de su utilización los materiales asfálticos deben presentar adecuadas adecuadas condiciones de viscosidad que permitan cubrir y mojar las partículas de agregado y las superficies sobre las que se aplican. Existe una viscosidad óptima a la cual cada producto trabaja mejor para un determinado fin, si bien esta viscosidad óptima no ha sido definitivamente establecida. La viscosidad de cualquier material es una función de su composición química, y los cementos asfálticos de diferentes sistemas de refinación, varían ampliamente en sus condiciones de escurrimiento o flujo.

Hay una relación entre la viscosidad y las propiedades adhesivas de los cementos asfálticos y asfaltos rebajados. Las bajas viscosidades facilitan el cubrimiento y mojado del agregado, pero las altas viscosidades promueven la adhesividad una vez que el cubrimiento adecuado se ha logrado.

a) FIGURA 2

PRUEBA DE PENETRACION

b) FIGURA 3

PRUEBA DE VISCOSIDAD

Los viscosímetros usados con mayor frecuencia en las aplicaciones del asfalto son aquellos en que se da como medida de la viscosidad el tiempo que cierta cantidad de producto tarda en fluir por un orificio de dimensiones determinadas. El aparato consiste en un recipiente en el que se vierte el producto cuya viscosidad se desea determinar, rodeado de un baño termostático que permite mantener el viscosímetro y la muestra a la temperatura a que se desea realizar el ensaye. Todas las dimensiones del aparato están normalizadas en cada tipo. En el fondo del recipiente hay un orificio de diámetro también fijado, provisto de un tapón de corcho. Para realizar la prueba se llena el recipiente con el producto por estudiar hasta un nivel determinado, manteniéndolo durante cierto tiempo a la temperatura deseada mediante el baño termostático.

El baño puede llenarse de agua para determinaciones a bajas temperaturas y de un aceite mineral de alto punto de ebullición para determinaciones a temperaturas superiores a los 100 °C.

Cuando se tiene la seguridad de que toda la masa del producto ha alcanzado la temperatura de prueba, se remueve el tapón del fondo y se mide el tiempo en que tarda en salir un determinado volumen del producto. En algunos viscosímetros como el Saybolt que es el que generalmente se emplea para los asfaltos, el recipiente al que cae el producto es un matraz de 60 cm y el orificio de dimensiones especiales, se denomina orificio o boquilla Furol. Por eso es común designar a la viscosidad obtenida con estos viscosímetros, viscosidad Saybolt-Furol.

El tiempo en segundos que tarda en fluir la cantidad de producto especificada en la medida de la viscosidad ver figura 3.

c) PUNTO DE INFLAMACION

El punto de inflamación corresponde a la temperatura en que una pequeña flama aplicada al asfalto produce un destello cuando se pasa sobre una muestra de asfalto sometida a calentamiento, al quemarse los vapores volátiles desprendidos del material la prueba a cementos asfálticos y a los asfaltos rebajados. Para los cementos asfálticos y los asfaltos rebajados de fraguado lento el recipiente en que se coloca la muestra es la copa abierta de Cleveland y en el caso de los rebajados de fraguado rápido y medio se usa la copa de Tag.

El punto de inflamación representa la temperatura máxima a que se puede calentarse un producto asfáltico, sin peligro de que se incendie. Está influido por la fuente de obtención del asfalto y por el proceso de refinación. Permaneciendo constantes el crudo de obtención y el procedimiento de refinación, el punto de inflamación aumenta gradualmente en un cemento asfáltico con la disminución de la penetración.

Muchos accidentes han sido originados por calentarse los asfaltos arriba de la temperatura correspondientes al punto de inflamación, los que han sido mayores en el caso de los rebajados de fraguado rápido, por la naturaleza tan volátil del solvente.

## PRUEBA DE PUNTO DE INFLAMACION

Corresponde a la temperatura a la que el asfalto puede ser calentado con seguridad sin peligro de que se incendie en presencia de una flama abierta. La determinación se efectua llenando una copa de latón de dimensiones determinadas, designada como copa abierta de Cleveland, con un volumen especificado de asfalto, en donde este es calentado a una velocidad preestablecida. Se pasa una pequeña flama sobre la superficie del asfalto a intervalos definidos. La temperatura a la cual se liberan suficientes destellos instantáneos al quemarse esos vapores al paso de la pequeña flama, es lo que se designa como punto de inflamación. ver figura 4.

### d) PUNTO DE REBLANDECIMIENTO

El punto de reblandecimiento es también una prueba de resistencia del asfalto a la deformación, o sea, en última instancia, es también una prueba de viscosidad. Durante algún tiempo se ha creído que el punto de reblandecimiento era un punto de equiviscosidad, es decir, que a esa temperatura todos los asfaltos presentaban la misma viscosidad. Esta viscosidad se fijaba en 12 000 poises.

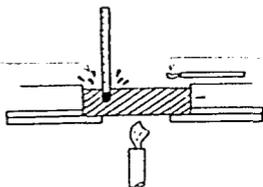
En realidad, las viscosidades de los diversos asfaltos a temperatura no sólo varían de un asfalto a otro sino que el asfalto puede tener distintos valores según las tensiones de

FIGURA 4

## PRUEBA DE PUNTO DE INFLAMACION

TEMPERATURA A QUE OCURREN LAS  
PRIMERAS CHISPAS AZULES=PUNTO  
DE ENCENDIDO

CHISPAS  
AZULES



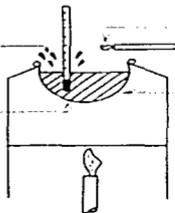
FLAMA DE PRUEBA, PASADA SOBRE  
LA COPA EN UN SEGUNDO

CEMENTO ASFALTICO

COPA ABIERTA DE CLEVELAND  
Cementos asfálticos y asfaltos rebajados FL

TEMPERATURA A QUE OCURREN LAS  
PRIMERAS CHISPAS AZULES=PUNTO  
DE ENCENDIDO

CHISPAS  
AZULES



FLAMA DE PRUEBA PASADA SOBRE  
LA COPA EN UN SEGUNDO

CEMENTO ASFALTICO

AGUA

COPA DE  
VIDRIO

COPA ABIERTA DE TAG  
Rebajados FR y FM

deformación a que se le someta. En la práctica, el punto de reblandecimiento da buena referencia de la susceptibilidad térmica de un asfalto.

#### PRUEBA DEL PUNTO DE REBLANDECIMIENTO

Los asfaltos, incluso los más duros, no son sólidos verdaderos, por lo que no pueden hablarse de un punto de fusión de ellos en un sentido estricto. Sin embargo, por conveniencia de identificación, se definen en los asfaltos un punto de reblandecimiento convencional, que es la temperatura a la que se alcanzan un determinado estado de fluidez.

El ensayo más común para determinar el punto de reblandecimiento de los asfaltos es el llamado de anillo y esfera. El punto de reblandecimiento de anillo y esfera se determina colocando un recipiente con agua y a una determinada altura sobre el fondo, un anillo de latón de dimensiones establecidas que se ha rellenado previamente con asfalto fundido y que se ha dejado enfriar a temperaturas ambiente durante cuatro horas. Sobre el tapón de asfalto se coloca una esfera de acero de 9.51 milímetros de diámetro, y después se calienta el baño de manera que la temperatura del agua suba a velocidad constante. Por el efecto del calor el asfalto se va ablandando y la esfera desciende gradualmente envuelta en una bolsa de asfalto hasta tocar el fondo del baño.

La temperatura del baño en ese preciso momento es lo que se

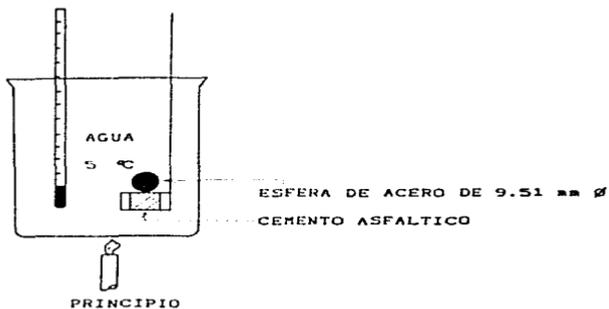
denomina el punto de reblandecimiento de anillo y esfera del asfalto considerado. ver figura 5.

#### e) DUCTILIDAD

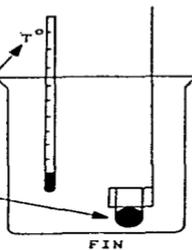
La ductilidad de un asfalto puede definirse como su capacidad para sufrir alargamiento sin desagregación de su masa. Esta es una de las pruebas más importantes del asfalto desde el punto de vista de su aplicación práctica, porque es la que de junto con la adhesividad, sus excelentes propiedades como ligante. En casi todas sus aplicaciones el asfalto queda sometido a tracciones y compresiones alternadas que resiste durándose, pero sin romperse, debido a su ductilidad.

La prueba para medir la ductilidad, generalmente admitida, e incluye en casi todas las especificaciones, consiste en estirar a velocidad fija, en general de 5 cm por minuto, una probeta de asfalto de dimensiones y forma establecidas, sumergida en un baño de agua termostático. Se define como ductilidad del asfalto, el alargamiento en centímetros en el momento de la ruptura.

FIGURA 5 PRUEBA DE PUNTO DE REBLANDECIMIENTO



TEMPERATURA A LA CUAL EL MATERIAL ASFALTICO TOCA EL FONDO DEL VASO DE PRECIPITADO = PUNTO DE REBLANDECIMIENTO



Aún cumpliendo escrupulosamente los requisitos de la prueba la dispersión de los resultados es bastante grande y no puede deducirse de ellos consecuencias de orden práctico. En general, la ductilidad de los asfaltos obtenidos por destilación de crudos adecuados es tan elevada que la ruptura de las estructuras en las que el asfalto interviene como ligante se produce antes por la falta de adherencia, que por fallas en la ductilidad tal como ésta se define en la prueba, esto hace que dicha prueba no sea de gran utilidad.

La ductilidad está por supuesto relacionada con las restantes propiedades de flujo y deformación del asfalto, como la viscosidad, elasticidad, ductilidad, fragilidad, etc. al que pertenece.

Los asfaltos empleados normalmente en la construcción de carreteras presentan ductilidades muy elevadas, superiores generalmente a las de los asfaltos oxidados empleados en trabajos de impermeabilización.

#### PRUEBA DE LA DUCTILIDAD

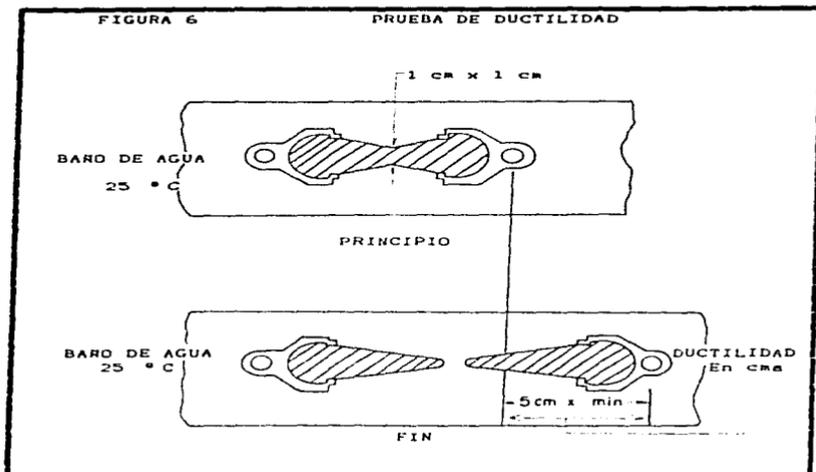
Determina el alargamiento máximo que experimenta una muestra de asfalto de dimensiones establecidas, sin romperse, cuando se extrae dentro de un baño de agua a 25 °C y a una velocidad de 5 centímetros por minuto. La prueba se realiza a los cementos asfálticos y a los residuos de la destilación de asfaltos rebajados y emulsiones asfálticas. Se considere que los asfaltos

que tienen altas ductilidades poseen buenas cualidades de cementación en los pavimentos y se adhieren bien a los agregados; presentan a la vez características, de poca susceptibilidad a la temperatura.

La ductilidad varía con la fuente de crudo y con los métodos de fabricación empleados; el intemperismo también produce disminución de la ductilidad en los asfaltos.

Una ductilidad inicial alta en el asfalto y la retención de dicha propiedad es un factor importante en la duración del pavimento.

Los resultados de la determinación de la ductilidad son afectados por la velocidad de estirado de la muestra. La prueba es muy sensible a la presencia de partículas de polvo en el material. La correlación del procedimiento de prueba con cualquier acción que se desarrolle en la superficie del camino es escasa. En la prueba el material es probado en masa, mientras que en el camino existe en películas relativamente delgadas. Muy poco es conocido sobre el verdadero esfuerzo que existe en la películas de asfaltos en el camino, pero es difícil de concebir que la velocidad de 5 centímetros por minuto y la temperatura de 25 °C sean representativas de cualquier condición de esfuerzos o tirantes que experimente el asfalto en servicio. Ver figura 6.



#### f) SOLUBILIDAD EN TETRACLORURO DE CARBONO

La solubilidad es una medida de la pureza del asfalto. La porción del asfalto que es soluble en bisulfuro de carbono represente los constituyentes cementantes activos del producto. Sólo la materia inerte (no cementante) como arena, carbón libre de impurezas orgánicas son insolubles en el solvente señalado.

en el tetracloruro de carbono, tricloroetileno y otros solventes, como el bisulfuro de carbono, pero son menos peligrosos que este, razón por la cual se los prefiere para efectuar las pruebas de solubilidad.

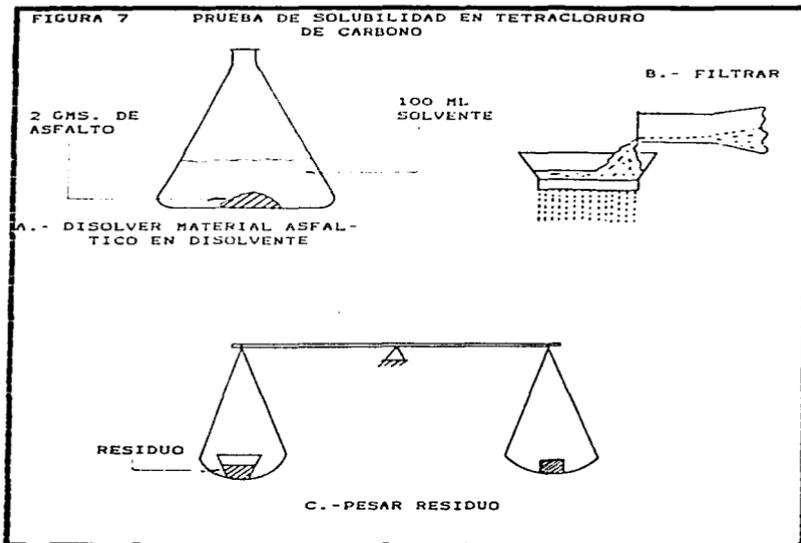
La solubilidad se determina disolviendo el asfalto en el solvente y separando las porciones solubles e insolubles mediante filtrado. Se reporta el porcentaje de asfalto disuelto respecto al peso total de la muestra.

#### PRUEBA DE SOLUBILIDAD EN TETRACLORURO DE CARBONO

Esta prueba determina el grado de pureza del asfalto. El material soluble en bisulfuro de carbono, tetracloruro de carbono o tricloroetileno, representa el contenido útil del producto. Haciendo la solución de una muestra de asfalto en alguno de estos solventes, según se especifique, se separa por el filtrado la porción soluble de la insoluble. La prueba se realiza a los cementos asfálticos y a los residuos de la destilación de asfaltos rebajados y emulsiones.

Las impurezas en el asfalto pueden proceder del crudo de origen, de contaminaciones del producto o de materias indeseables introducidas durante el proceso de refinación. En general, los asfaltos cumplen con los requisitos de especificación, por lo que a veces se piensa que la prueba es de poco valor. Sin embargo, suprimir este requisito, llevaría a descuidar la eliminación de sales y otras operaciones de la refinación en detrimento de la

calidad de los materiales asfálticos. mostrado en la figura 7.



g) PRUEBA DE LA PELICULA DELGADA

La prueba determina el efecto de elevada temperatura en una muestra de asfalto en capa delgada, a través de la pérdida por calentamiento y la disminución de la penetración. Se efectúa sólo

a los cementos asfálticos, que son los que se someten a severos calentamientos en las plantas de elaboración del concreto asfáltico. La muestra se calienta a 163° C durante 5 horas, después de las cuales se calcula el porcentaje de la penetración original. La prueba permite descubrir la contaminación del cemento asfáltico con materiales ligeros, como ocurre en ocasiones cuando se le vacía en tanques que contienen residuos de asfaltos rebajados. En general, el cemento asfáltico puede aceterarse a calentamiento con seguridad por tiempo considerable, pero no por eso debe inferirse que no exista peligro de perjudicarlo y ocasionarle un endurecimiento prematuro.

En tratamientos superficiales y riegos de selló, un gran porcentaje del asfalto está directamente expuesto a la temperatura ambiente y al intemperismo, por lo que la disunión de la penetración es muy rápida.

Esta prueba tiene por objeto someter a una muestra de asfalto a condiciones rígidas de calentamiento aproximadas a las que ocurren en una planta normal de elaboración de mezclas en caliente. Se efectúan pruebas de penetración en la muestra antes y después del calentamiento, para determinar el porcentaje de penetración retenida respecto a la original. Así mismo, se calcula la pérdida por calentamiento, expresandola como un porcentaje del peso inicial.

La prueba consiste en colocar 50 cm<sup>3</sup> de asfalto en un molde cilíndrico de metal con un fondo plano, de 139.7 milímetros de diámetro interior y 9.51 milímetros de altura.

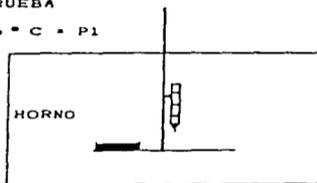
El recipiente conteniendo la muestra se coloca sobre una plataforma giratoria dentro de un horno ventilado y se mantiene ahí durante un lapso de 5 horas a la temperatura de 163 °C la plataforma debe girar a una velocidad de 5 a 6 revoluciones por minuto. ver figura 8

FIGURA 8

## PRUEBA DE LA PELICULA DELGADA

50 cm<sup>3</sup>

ANTES DE LA PRUEBA  
 PESO = W1  
 PENETRACION A 25 ° C = P1



PLATAFORMA  
 GIRATORIA

PERDIDA POR CALENTAMIENTO

$$x = ((W1 - W2)/W1) \times 100$$

PENETRACION RETENIDA

$$x = ((P1/P2) \times 100$$



DESPUES DE LA PRUEBA  
 PESO = W2  
 PENETRACION A 25 ° C = P2

## 2.3 ASFALTOS REBAJADOS

Con el fin de poder hacer trabajable al cemento asfáltico a temperaturas menores, es necesario fluidificarlo, para lo cual se producen los rebajados asfálticos. Por lo que a continuación se dan la clasificación, tipos, propiedades y aplicaciones, normas de calidad y temperaturas a la que se recomiendan aplicarlo para su mejor utilización.

### 2.3.1 CLASIFICACION Y TIPOS

Los asfaltos rebajados se preparan agregando al cemento asfálticos solventes ligeros del petróleo y se clasifican en tres grupos.

Asfaltos rebajados de fraguado rápido (FR)  
Asfaltos rebajados de fraguado medio (FM)  
Asfaltos rebajados de fraguado lento (FL)

Los asfaltos rebajados de fraguado rápido son aquellos en que se emplea como solvente del cemento asfáltico un material del tipo de la gasolina.

Existen varios tipos o grados de estos asfaltos, dependiendo de la proporción de cemento asfáltico y de solvente presente en el producto. Se designan con los símbolos FR-0, FR-1, FR-2, FR-3, y FR-4, en que el índice creciente indica una proporción cada vez mayor de cemento asfáltico.

Los asfaltos rebajados de fraguado medio se elaboran agregando al cemento asfáltico solventes del tipo de la kerosena, que son menos volátiles que las gasolinas. Por lo tanto, el fraguado de estos rebajados es un poco más tardado que los de fraguado rápido.

El fraguado se refiere a la eliminación de solventes en los rebajados y en el mismo concepto que implica el proceso de curado cuando se han aplicado estos productos a los materiales pétreos. Los asfaltos rebajados de fraguado medio pueden ser también de 5 tipos dependiendo de la proporción de cemento asfáltico y de solventes, designándoseles como FM-0, FM-1, FM-2, FM-3 y FM-4.

En que los índices tienen el mismo significado que se mencionó en el caso de los rebajados de fraguado rápido.

Los asfaltos rebajados de fraguado lento son cementos asfálticos con solventes del tipo de aceites ligeros. Generalmente no se preparan adicionando en la planta dichos aceites al cemento asfáltico, sino que se obtienen directamente del residuo de la destilación del petróleo. Por ser los solventes de estos rebajados mucho menos volátiles que las gasolinas y kerosenas su fraguado es bastante más tardado que el de los FR y FM. De acuerdo con la proporción de cemento asfáltico que contienen, pueden ser de los tipos o grados FL-0, FL-1, FL-2, FL-3 y FL-4.

### 2.3.2. PROPIEDADES Y APLICACIONES

Las propiedades de los asfaltos rebajados se definen mediante las siguientes pruebas:

- a) Punto de inflamación
- b) Viscosidad
- c) Destilación
- d) Penetración (solo FR y FM)
- e) Flotación
- f) Ductilidad
- g) Solubilidad en tetracloruro de carbono

Las 4 últimas pruebas se efectúan en el residuo de la destilación. En la determinación del punto de inflamación se emplea la copa abierta de Tag para los asfaltos rebajados de fraguado rápido y medio (FR y FM) y la copa abierta de Cleveland, para los FL, estas pruebas se han descrito brevemente anteriormente.

Las propiedades de los asfaltos rebajados están determinadas por sus características de viscosidad a diferentes temperaturas y por los resultados de penetración, flotación y ductilidad en pruebas practicadas al residuo de destilación. Dichas propiedades influyen de manera importante en las características de estos asfaltos al momento de su aplicación y posteriormente en su comportamiento durante su servicio en las obras. Debe dárseles por lo tanto especial atención ya que son la base del éxito o fracaso de los trabajos que se efectúan con estos materiales.

Los asfaltos rebajados de fraguado rápido se emplea en nuestro medio para la construcción de carpetas, sub-bases y bases estabilizadas, riegos de liga, carpetas de riegos y riegos de sello. Se utilizan casi exclusivamente los del tipo FR-2, FR-3 y FR-4 y en forma preferente FR-3.

Los rebajados de fraguado medio se emplean en riegos de impregnación de las bases de pavimentos flexibles y de sub-bases de pavimentos rígidos. Excepcionalmente se usan para la construcción de mezclas asfálticas los de tipo FM-0 y FM-1, con preferencia del último, son los que principalmente se utilizan en México para los riegos de impregnación señalados.

Los asfaltos rebajados de fraguado lento ya prácticamente no se usan en nuestro país. Se usaron mucho en épocas pasadas, como paliativos del polvo en los caminos revestidos. En cualquiera de los trabajos en que se utilizan los asfaltos rebajados, es condición necesaria para lograr una adherencia adecuada de los materiales pétreos o superficies a la que se les aplica estén secos, lo que puede ser una desventaja en los lugares de clima lluvioso, no obstante que mediante el uso de ciertos aditivos es factible lograr buenos resultados aun cuando los materiales pétreos o superficies de aplicación estén húmedos.

Dado que la función de los solventes en los asfaltos rebajados es simplemente fluidificar el cemento asfáltico y poder incorporarlo o aplicarlo a los materiales pétreos prácticamente en frío una vez logrado este objetivo, dichos solventes deben eliminarse en su mayor parte para permitir el trabajo del cemento

asfáltico, que es realmente el material que quedará en definitiva como ligante en la obra.

### 2.3.3 TEMPERATURAS RECOMENDABLES DE APLICACION

Las temperaturas a las que se recomienda calentar los asfaltos rebajados al momento de su aplicación tienen la doble finalidad de impartirles la adecuada viscosidad para que curan y mojen convenientemente a los agregados y otras superficies en que se riegan y para evitar los peligros de incendio a que están expuestos dada la volatilidad de los solventes que contienen, sobre todo los rebajados de los tipos FR y FM.

#### TEMPERATURAS RECOMENDABLES DE APLICACION DE LOS ASFALTOS REBAJADOS

ASFALTOS REBAJADOS DE FRAGUADO RAPIDO	FR-0 : de 20 °C a 40 °C
	FR-1 : de 30 °C a 50 °C
	FR-2 : de 40 °C a 60 °C
	FR-3 : de 60 °C a 80 °C
	FR-4 : de 80 °C a 100 °C
ASFALTOS REBAJADOS DE FRAGUADO MEDIO	FM-0 : de 20 °C a 40 °C
	FM-1 : de 30 °C a 60 °C
	FM-2 : de 70 °C a 85 °C
	FM-3 : de 80 °C a 95 °C
	FM-4 : de 90 °C a 100 °C
ASFALTOS REBAJADOS DE FRAGUADO LENTO	FL-0 : de 20 °C a 30 °C
	FL-1 : de 30 °C a 45 °C
	FL-2 : de 75 °C a 85 °C
	FL-3 : de 85 °C a 95 °C
	FL-4 : de 95 °C a 100 °C

#### 2.3.4 NORMAS DE CALIDAD

Los asfalto rebajados de los distintos tipos deben de cumplir con los requisitos de calidad mostrados en las tablas 2.3.4.

Algunas pruebas se realizan a los cementos asfálticos y a los asfaltos rebajados de frogado rápido medio y lento, al igual se realizan algunas pruebas para los emulsiones asfálticas.

Las pruebas restantes se mencionarán anteriormente.

##### c) DESTILACION

Esta prueba se efectúa a los asfaltos rebajados y a las emulsiones asfálticas, en los primeros para determinar los porcentajes de solventes a diferentes temperaturas hasta la máxima de  $360^{\circ} \text{C}$  y el porcentaje del residuo asfáltico con respecto al volumen total, y en las segundas para determinar las proporciones de cemento asfáltico y de agua en el producto.

En los asfaltos rebajados una cantidad especificada del producto se coloca dentro del matraz de destilación, el cual esta conectado a un tubo refrigerante por el que circula agua fría.

Cuando se calienta el matraz los solventes se evaporan y pasan al refrigerante donde se condensan de nuevo, reuniéndose en

una probeta graduada. Se controla la velocidad del destilado.

El volumen del agua se cuantifica en la probeta en que se recoge el destilado y en el cual queda separada de los solventes por la diferencia de densidades.

En las emulsiones asfálticas, la prueba se efectúa de manera similar, sólo que el recipiente de destilación es de hierro o de aleación de aluminio y el quemador es circular en vez de una flama única, lo que está especialmente diseñado para evitar problemas de formación de espuma en la emulsión, al momento de ser calentada.

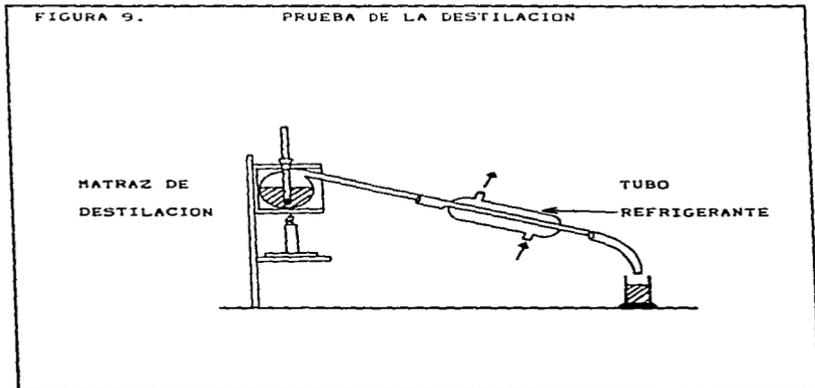
Cuando en la fabricación de emulsiones se emplean cementos asfálticos con cierta proporción de solventes, la prueba de destilación permite determinar la cantidad que contienen de éstos.

La prueba de destilación es especialmente importante en el caso de los asfaltos rebajados. El destilado es considerado como representativo de la cantidad y tipo de material volátil, el que deberá evaporarse en un tiempo relativamente corto durante la construcción, y el residuo de la prueba es considerado como representativo del cemento asfáltico que permanecerá en la obra.

La eliminación de los solventes de los rebajados es lo que se conoce como el proceso de curado. Para ciertos propósitos específicos, las etapas iniciales de curado son muy importantes, como en el caso de tratamientos superficiales y riegos de sello en que es necesario que el material cure rápidamente para que desarrolle suficiente poder de retención y pueda mantener el

apoptamiento del material pétreo. Por eso se emplean en estos trabajos asfaltos rebajados de fraguado rápido, en que la volatilidad de los solventes es alta.

En los asfaltos rebajados se presenta también a veces la formación de espuma durante la prueba de destilación, lo que puede deberse a un calentamiento demasiado rápido o la presencia de agua en el producto por contaminación; debe calentarse con precauciones y en forma lenta hasta lograr la evaporación total del agua y después continuar con el proceso de la destilación. ver figura 9.



### e) FLOTACION

La prueba de flotación se usa en la determinación de la consistencia de aquellos materiales que son demasiado viscosos para hacerles la prueba de viscosidad y demasiado suaves para poder determinarles la penetración. Como los asfaltos no caen dentro de estos grados de viscosidad la prueba no tiene realmente aplicación para ellos. Se usa sólo para fijar la consistencia de los residuos de la prueba de destilación en los asfaltos rebajados de fraguado lento.

En esta prueba se hace un tapón de asfalto, se enfría a 50 °C se atornilla a una flotador de dimensiones establecidas y el conjunto se hace flotar en agua mantenida a una temperatura de 50 °C. El tiempo en segundos transcurrido desde que el aparato se coloca en el baño de agua se hebre peso a través del asfalto, se toma como medida de la flotación del material.

Es una prueba de consistencia que sólo se utiliza en el caso del residuo de la destilación de los asfaltos rebajados de fraguado lento, el cual es demasiado suave para someterlo a la prueba de penetración. Dado que los asfaltos rebajados de fraguado lento son ya poco utilizados en nuestro medio.

TABLA 2 NORMAS DE CALIDAD PARA ASPALTOS REBAJADOS DE FRAGUADO RAPIDO

CARACTERISTICAS	GRADO				
	FR-0	FR-1	FR-2	FR-3	FR-4
<b>PRUEBAS AL MATERIAL ASPALTICO</b>					
Punto de inflamación (copa abierta de Tag), ° C mínimo .....			27	27	27
Viscosidad Saybolt-Furol:					
A 25 ° C, segundos .....	75-150				
A 50 ° C, segundos .....		75-150			
A 60 ° C, segundos .....			100-200	250-500	
A 82 ° C, segundos .....					125-250
Destilación: Por ciento total destilado a 360 ° C.					
Hasta 190 ° C, mínimo .....	15	10			
Hasta 225 ° C, mínimo .....	55	50	40	25	8
Hasta 260 ° C, mínimo .....	75	70	65	55	40
Hasta 315 ° C, mínimo .....	90	88	87	83	80
Residuo de la destilación a 360 ° C. Por ciento del volumen total por diferencia, mínimo .....					
	50	60	67	73	78
Agua por destilación, porcentaje mínimo ...					
	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
<b>PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION</b>					
Penetración, grados .....	80-120	80-120	80-120	80-120	80-120
Ductilidad en centímetros, mínimo .....	100	100	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo .....	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

TABLA 3 NORMAS DE CALIDAD PARA ASFALTOS REBAJADOS DE PRAGUADO MEDIO

CARACTERISTICAS	GRADO				
	FM-0	FM-1	FM-2	FM-3	FM-4
<b>PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO</b>					
Punto de inflamación (copa abierta de Tag), ° C mínimo .....	38	38	66	66	66
Viscosidad Saybolt-Furol:					
A 25 ° C, segundos .....	75-150	75-150	100-200	250-500	125-250
A 50 ° C, segundos .....					
A 60 ° C, segundos .....					
A 82 ° C, segundos .....					
Destilación: Por ciento total destilado a 360 ° C.					
Basta 225 ° C , máximo .....	25	20	10	5	0
Basta 260 ° C , máximo .....	40-70	25-65	15-55	5-40	30 Máx
Basta 315 ° C , máximo .....	75-93	70-90	60-87	55-85	40-80
Residuo de la destilación a 360 °C. Por ciento del volumen total por diferencia , mínimo .....					
	50	60	67	73	78
Agua por destilación, porcentaje máximo ...					
	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
<b>PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION</b>					
Penetración, grados .....					
	120-300	120-300	120-300	120-300	120-300
Ductilidad en centímetros, mínimo .....					
	100	100	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo .....					
	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

TABLA 4 NORMAS DE CALIDAD PARA ASPALTOS REBAJADOS DE FRAGUADO LENTO

CARACTERISTICAS	GRADO				
	FL-0	FL-1	FL-2	FL-3	FL-4
<b>PRUEBAS AL MATERIAL ASPALTICO</b>					
Punto de inflamación (copa abierta de Cleaveland), mínimo .....	66	66	80	93	107
Viscosidad Saybolt-Furol:					
A 25 ° C, segundos .....	75-150	75-150	100-200	250-500	125-250
A 50 ° C, segundos .....					
A 60 ° C, segundos .....					
A 82 ° C, segundos .....					
Destilación: Por ciento total destilado a 360 ° C. por ciento en volumen .....	15-40	10-30	5-25	2-15	10 Máx
Residuo de la destilación a 100 grados de penetración, por ciento, mínimo .....	40	50	60	70	75
Aqua por destilación, porcentaje máximo ...	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
<b>PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION</b>					
Flotación en el residuo de la destilación, a 25 ° C, segundos .....	15-100	20-100	25-100	50-125	60-150
Ductilidad del residuo asfáltico de 100 grados de penetración, 25 ° C en mínimo ...	100	100	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo .....	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

## 2.4 EMULSIONES ASFALTICAS

El elemento más valioso para el desarrollo de las técnicas en frío es la emulsión asfáltica. La emulsión asfáltica constituye la solución lógica y natural para colocar en obra, asfaltos a temperatura ambiente sin miedo a la presencia de humedad ni a los problemas que produce una mala adherencia con los agregados.

### 2.4.1 PROPIEDADES Y APLICACIONES

Las propiedades de las emulsiones asfálticas se determinan mediante las siguientes pruebas:

- a) Asentamiento
- b) Retenido en la malla Núm. 20
- c) Miscibilidad con el cemento Portland
- d) Demulsibilidad (sólo aniónicas)
- e) Carga de la partícula
- f) pH de la emulsión (sólo catiónicas)
- g) Contenido de solventes

En los trabajos de construcción, reconstrucción y conservación de pavimentos, las emulsiones asfálticas tienen las siguientes aplicaciones:

**Emulsiones de rompimiento rápido:** Pueden utilizarse en riegos de liga para carpeta, carpeta de riegos y riegos de sello.

**Emulsiones de rompimiento medio:** Se emplean principalmente para mezclas asfálticas utilizando materiales con muy poca cantidad de finos (partículas pasando la malla Núm. 200) para la construcción de sub-bases o bases estabilizadas, carpeta para caminos de bajo tránsito, bacheos y nivelaciones.

**Emulsiones de rompimiento lento:** Se utilizan para mezclas asfálticas, con materiales pétreos relativamente finos o graves, arenas con finos para sub-bases o bases estabilizadas y carpeta para caminos de bajo tránsito.

También tiene aplicación en la elaboración de mortero asfáltico que están constituidos por emulsión asfáltica, arena (generalmente con tamaño máximo de 2.8 milímetros) y en ocasiones filler de cemento Portland o cal hidratada, estos morteros se usan principalmente para el sellado de superficies agrietadas o de capas asfálticas rígidas por envejecimiento del asfalto original.

En todos los casos de utilización de las emulsiones asfálticas, una vez seleccionados los materiales pétreos con los que habrá que emplearse, es necesario siempre realizar previamente estudios de laboratorio que permita definir con seguridad el tipo más conveniente de la emulsión por usar, a efecto de lograr el mejor comportamiento de las obras que se

construyan. En general la emulsión debe adaptarse al material pétreo que vaya a utilizarse y las condiciones especiales del trabajo por ejecutar y no a la inversa. También es necesario tener presente que son productos más delicados que los asfaltos rebajados y que requieren de personal más cuidadoso y de precauciones especiales en su transporte, manejo y aplicación ya que de otra manera es factible provocarle un rompimiento prematuro, que a la vez puede ser el origen de muchos fracasos y problemas en los trabajos de construcción.

#### 2.4.2 EMULSIONES CATIONICAS Y ANIONICAS

Las emulsiones asfálticas, se clasifican principalmente en aniónicas y catiónicas, dependiendo de la naturaleza del emulsificante.

Las emulsiones aniónicas: derivan su nombre del hecho de que cuando se sumergen dos electrodos en ellas y se hace pasar una corriente eléctrica, los globulos de asfalto se dirigen hacia al anodo, lo que significa que posee carga eléctrica negativa y tiene por este hecho, afinidad por los materiales pétreos electropositivos como las calizas y los basaltos.

El emulsificante de estas emulsiones aniónicas es un electrolito, es decir, un cuerpo ionizable que se disocia en el agua en 2 fracciones eléctricas; el anión (carga negativa) y el catión (carga positiva). Generalmente este emulsificante es un jabón alcalino de ácido graso, como una sal de sodio o de potasio

de un ácido orgánico. La fórmula general de estos jabones, en el caso de sal de sodio es  $R' - COONa$ .

$R'$  representa la cadena del ácido graso y constituye la parte no polar de la molécula que tiene afinidad por la fase asfáltica.

La otra parte de la molécula  $COONa$ , es la parte polar. Cuando dicho jabón se pone en solución en el agua, se ioniza: el sodio (Na) constituye los iones positivos o cationes y el resto de la molécula (RCOO) constituyen los iones negativos o aniones.

Cuando se dispersa el asfalto en esta solución jabonosa, los aniones (RCOO) son absorbidos por los glóbulos de asfalto y vienen a constituir una envoltura alrededor de ellos, en tanto que los cationes (Na) absorbidos por el agua, constituyen una segunda envoltura alrededor de la primera.

Los iones que envuelven los glóbulos de asfalto se repelen, puesto que llevan carga del mismo signo (negativo), impidiendo la coagulación y asegurando la estabilidad de la emulsión ver figura 10.



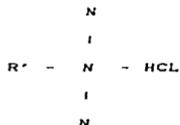
FIGURA 10. EMULSION ANIONICA

EMULSION CATIONICA

Las emulsiones catiónicas: Se denominan así porque a la inversa de lo que sucede con las emulsiones aniónicas, los glóbulos de asfalto se dirigen hacia el cátodo cuando se sumergen 2 electrodos en ellas y se hace pasar una corriente eléctrica.

Presentan por lo tanto cargas eléctricas positivas y tienen una buena afinidad con los materiales pétreos electronegativos, como los de la naturaleza silíceos (cuarzo).

El emulsificante en este caso es también un electrolito, constituido generalmente por una sal de amina o amino cuaternario, que resulta de la acción de un ácido mineral (clorhídrico, nítrico, acético, etc.) sobre la amina gasea. La fórmula general de este tipo de jabones es por ejemplo.



En la que R' representa la cadena orgánica característica de la amina y constituye la parte no polar de la molécula, la cual tiene afinidad con el asfalto. La otra parte de dicha molécula (NH3CL) es la parte polar, con afinidad por el agua.

Al ponerse en solución en el agua este emulsificante se ioniza; el átomo de cloro (CL) constituye el anión (-) y el resto de la molécula (R' NH3) son absorbidos por los glóbulos de asfalto, debido a la afinidad de R' por el ligente hidrocarbonado. Estos cationes vienen a constituir una envoltura

consecuentemente cargada en forma positiva a la inversa de lo que sucede en el caso de la emulsión aniónica. Los aniones (CL) absorbidos por el agua constituyen una segunda envoltura alrededor de la primera.

La estabilidad de las emulsiones catiónicas queda asegurada por la repulsión electrostática de los glóbulos de asfalto, los cuales están rodeados de iones del mismo signo (positivo).

Además de la diferencia fundamental entre ambos tipos de emulsiones, debida a su carga eléctrica, se encuentran que las emulsiones aniónicas son de carácter básico (pH entre 11 y 12) por la presencia de los iones  $\text{OH}^-$  de la sosa caustica (hidroxido de sodio  $\text{Na} \cdot \text{OH}$ ) que se le agrega para darle más estabilidad, mientras que las emulsiones catiónicas generalmente tienen un carácter ácido (pH entre 6 y 7) debido a la presencia del ión  $\text{H}^+$  del ácido clorhídrico ( $\text{H} \cdot \text{CL}$ ) que se utiliza en su fabricación.

Aparte de las emulsiones aniónicas y catiónicas existen también otros tipos de emulsiones, como las fabricadas con emulsificantes no iónicos (ésteres de ácido graso o de alcoholes) o con emulsificantes coloidales (caseínas, gelatinas, polvos finos de arcillas y bentonitas). Las emulsiones no iónicas casi no se han usado en los trabajos de pavimentación y las elaboradas con emulsificantes coloidales se emplean generalmente para usos industriales. ver figura 10.

### 2.4.3 VENTAJAS QUE PRESENTA

Las emulsiones asfálticas pueden presentar las siguientes ventajas en relación con otros materiales asfálticos.

1) Se aplican a la temperatura ambiente, con tal de que esta sea superior a 5 ° C, sin necesidad de calentamiento. El cemento asfáltico y los asfaltos rebajados tienen que calentarse para abatir fuerzas de cohesión y disminuir la viscosidad, a efecto de permitir el cubrimiento del material pétreo.

La eliminación del calentamiento reduce costo y evita peligros de incendio; en los asfaltos rebajados, las repetidas operaciones de calentamiento pueden hacer que se afecten desfavorablemente las características de estos productos, al perderse gran parte de los solventes volátiles que contienen.

2) Las emulsiones pueden aplicarse sobre materiales húmedos, principalmente en el caso de las catiónicas, eliminándose el costo en las operaciones de secado. No obstante, con las emulsiones aniónicas, la humedad de los materiales pétreos no debe ser muy alta, ya que su rompimiento depende en buena parte de la evaporación del agua; en las emulsiones catiónicas, en donde el rompimiento se efectúa fundamentalmente por la tracción de las cargas eléctricas, la humedad del agregado inclusive favorece el cubrimiento de este.

3) El empleo de emulsiones permite ampliar el período de la construcción al poderse utilizar material pétreo húmedo, lo que disminuye costos al aumentar el tiempo que el puede estar en actividad.

Con las emulsiones catiónicas, pueden efectuarse trabajos de conservación en épocas lluviosas, que es cuando se presentan condiciones críticas en los pavimentos. Desde luego, los trabajos pueden realizarse en plena lluvia, pero el empleo de estos productos permite utilizar materiales pétreos en condiciones muy desfavorables de humedad.

4) Las emulsiones catiónicas permiten tender y compactar una mezcla asfáltica, una vez terminada. Se eliminan con ella riesgos de obtener resultados poco satisfactorios por presencia de una lluvia inesperada.

5) Las emulsiones asfálticas presentan en general buenas características de adhesividad con los materiales pétreos, en virtud de que los emulsificantes son a la vez agentes tenso-activos que favorecen esta propiedad.

#### 2.4.4 NORMAS DE CALIDAD

Las emulsiones asfálticas que se emplean en los trabajos de pavimentación deben cumplir con las normas de calidad que se muestran en las tablas 5 y 6 que a continuación se muestran.

TABLA 5 NORMAS DE CALIDAD PARA EMULSIONES ASPALTICAS ANIONICAS

CARACTERISTICAS	GRADOS				
	ROMPIMIENTO RAPIDO		ROMPIMIENTO MEDIO	ROMPIMIENTO LENTO	
	RR-1	RR-2	RM-2	RL-1	RL-2
<b>PRUEBAS AL MATERIAL ASPALTICO</b>					
Viscosidad Saybol-Furol:					
A 25 °C , segundos .....	20-100		10 Min	20-100	20-100
A 50 °C , segundos .....		75-400			
Residuo de la destilación, por ciento, en peso , mínimo .....	57	62	62	62	57
Asentamiento en 5 días, diferencia por ciento, máximo .....	3	3	3	3	3
Demulsibilidad:					
35 ml de 0.02 N CaCl <sub>2</sub> , por ciento, mínimo.	60	50			
50 ml de 0.1 CN CaCl <sub>2</sub> , por ciento, máximo.			30		
Retenido en la malla No. 20, por ciento máx	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Miscibilidad con cemento Portland , por ciento , máximo				2.0	2.0
<b>PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION.</b>					
Penetración, 25 °C, 100 g. 5 segundos, grados. ....	100-200	100-200	100-200	100-200	40-90
Solubilidad en tetracloruro de carbono , por ciento , mínimo .....	97.5	97.5	97.5	97.5	97.5
Ductilidad, 25 °C , cm. mínimo .....	40	40	40	40	40

TABLA 6 NORMAS DE CALIDAD PARA EMULSIONES ASPALTICAS CATIONICAS

CARACTERISTICAS	GRADOS				
	ROMPIMIENTO RAPIDO		ROMPIMIENTO MEDIO	ROMPIMIENTO LENTO	
	RR-1	RR-2	RM-2	RL-1	RL-2
Viscosidad Saybol-Furol: A 25 °C , segundos .....					
A 50 °C , segundos .....	20-100	100-400	50-500	20-100	20-100
Residuo de la destilación, %, en peso, mfn.	60	65	60	57	57
Asentamiento en 5 días, diferencia %, máximo	5	5	5	5	5
Retenido en la malla No. 20 , %, máximo .	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Cubrimiento del agregado (en condiciones de trabajo). Prueba de resistencia al agua: Agregado seco, por ciento de cubrimiento, mín			80		
Agregado húmedo, % de cubrimiento mínimo			60		
Miscibilidad con cemento Portland, %, máximo				2.0	2.0
Carga de la partícula .....	+	+	+		
pH máximo .....				6.7	6.7
Disolvente en volumen, por ciento máximo .	3	3	20		
PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION.					
Penetración, 25 °C, 100 g. 5 segundos, grados. ....	100-200	100-200	100-200	100-200	40-90
Solubilidad en tetracloruro de carbono , por ciento , mínimo .....	97.5	97.5	97.5	97.5	97.5
Ductilidad, 25 °C , cm. mínimo .....	40	40	40	40	40

A continuación se hace referencia de las siguientes pruebas descritas anteriormente.

a) Asentamiento.

La prueba de asentamiento determina la tendencia de los glóbulos de asfalto a unirse entre sí durante el almacenamiento de la emulsión. La prueba consiste en mantener cierto volumen de emulsión en una probeta graduada, durante un número determinado de días, al cabo de los cuales se toman muestras de la parte superior y del fondo de la probeta. Estas muestras se pesan y se calientan hasta que toda el agua se evapore. Se obtiene en cada una de ellas el porcentaje en peso del residuo y se determina la diferencia, la cual será una medida del asentamiento.

b) Retenido en la malla número 20.

La prueba de la malla complementa a la prueba de asentamiento y tiene un propósito similar. Se usa para determinar cuantitativamente el porcentaje de cemento asfáltico presente en la emulsión en la forma de glóbulos relativamente grandes. Tales glóbulos tenderían a producir cubrimientos no uniformes de las partículas de material pétreo. Esta tendencia podría no ser relevada por la prueba de asentamiento, la que es de utilidad a este respecto sólo cuando hay la suficiente diferencia entre las densidades del agua y del asfalto.

La prueba se efectúa haciendo pasar una muestra de emulsión através de una malla del número 20 para las emulsiones aniónicas

se lavan la malla y el asfalto retenido con una solución diluida de oleato de sodio y para emulsiones catiónicas el lavado se efectúa simplemente con agua destilada. Después del lavado se coloca la malla con el asfalto retenido en un horno para su secado y a continuación se determina el peso del asfalto retenido y el porcentaje representado con relación al peso original de la muestra, valor que se reporta como resultado de la prueba.

c) Miscibilidad con el cemento.

Esta prueba se efectúa a las emulsiones de rompimiento lento, tanto aniónicas como catiónicas y tiene por objeto asegurar productos sustancialmente inmunes a una rápida floculación de las partículas de asfalto al entrar en contacto con materiales o suelos finos.

Para llevar a cabo la prueba se mezcla completamente cantidades especificadas de la emulsión asfáltica y cemento Portland. La mezcla se lava después sobre una malla Núm. 14 y se determina el peso del material retenido. Se reporta este peso como porcentaje del peso total de la mezcla, generalmente se usan para la prueba 100 cm<sup>3</sup> de emulsión y 50 gr. de cemento Portland.

d) Desemulsibilidad.

La prueba se efectúa solamente a emulsiones aniónicas de rompimiento lento. Indica la mayor o menor rapidez con que los glóbulos de asfalto tienden a agruparse entre sí o a flocular, cuando se extiende en películas delgadas sobre las partículas de

suelo o de agregado.

Para hacer la prueba se mezcla cierta cantidad de una solución especificada de cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) a determinada cantidad de emulsión. La mezcla se vierte sobre una malla Núm. 14 y se lava, el grado de floculación se determina de acuerdo con el peso del asfalto que queda retenido en la malla. El cloruro de calcio hace flocular a las partículas de asfalto de las emulsiones aniónicas.

Se requiere un alto grado de demulsibilidad para el caso de las emulsiones asfálticas de rompimiento rápido, ya que esperan que rompan casi inmediatamente que entran en contacto con la superficie del agregado. Por tanto se requiere una solución muy diluida en cloruro de calcio para la prueba de demulsibilidad de este tipo de emulsión aniónica.

e) Carga de la partícula.

Esta prueba sirve para una identificación de las emulsiones catiónicas de rompimiento rápido y de rompimiento lento. Consiste en sumergir 2 electrodos en una muestra de emulsión, conectados a una fuente de corriente eléctrica, se examinan los electrodos para determinar en cual de ellos se ha depositado el asfalto. Un depósito de asfalto en el cátodo revelará que se trata de una emulsión catiónica.

f) pH de la emulsión.

Esta prueba se usa únicamente para determinar el grado de acidez de las emulsiones catiónicas de rompimiento lento. Se emplean en vez de la prueba de carga de la partícula que se aplica a las emulsiones de este tipo rápido y rompimiento medio.

Se usa un potenciómetro o medidor de pH para realizar la prueba, la cual consiste en colocar la muestra de la emulsión dentro de un recipiente o charola e insertar 2 electrodos de vidrio en conexión con el potenciómetro. Se mide en el aparato la diferencia de potencial en unidades de pH & en milivoltios, que son indicaciones de la acidez de la muestra.

g) Contenido de solventes.

La prueba sirve para determinar el porcentaje de solventes derivados del petróleo que pueden contener algunas emulsiones catiónicas de rompimiento rápido y de rompimiento medio, el cual no debe de exceder de ciertos límites especificados. En realidad el dato se obtiene como resultado de destilación, incluye el volumen total de solventes y de agua que están presentes en la emulsión.

Como los dos materiales quedan separados en la probeta donde se recogen dichos destilados, puede determinarse fácilmente las cantidades de cada uno. El contenido de solvente se reporta como porcentaje del volumen total de la muestra.

### CAPITULO 3 UTILIZACION DE MEZCLAS ASFALTICAS PARA LA CONSTRUCCION DE CARPETAS FLEXIBLES

#### 3.1 LAS PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS PETREOS

Los agregados pétreos tienen una gran variedad de aplicaciones en la construcción de vías terrestres, como en materiales destinados para construir capas de subbase y base para caminos, aeropistas, carpetas asfálticas en caliente o en frío, para construir pavimentos flexibles. El agregado producido se utiliza bien mezclado con otros materiales aglomerados o cementantes, para dar una estructura sólida (concreto hidráulico, mezclas asfálticas, etc.) o bien utilizarse solo, como el material para vías ferreas.

Los materiales pétreos que se emplean en la construcción de pavimentos constituyen uno de los aspectos principales para que estas estructuras proporcionen con eficiencia el servicio y duración que se esperan de ellas, dentro de las condiciones previstas en el proyecto.

Aunque la buena estructuración de los pavimentos guarda también estrecha relación con otros factores importantes, tales como el empleo de ligentes asfálticos o hidráulicos, los procedimientos de construcción que se aplique; etc. el éxito depende en buena parte de los materiales pétreos utilizados y de seleccionar y procesar siempre en forma congruente con el uso a que se les destine, a fin de lograr en ellos, el menor costo

posible la calidad que se requiera en cada caso para resiatir adecuadamente los efectos impuestos por el tránsito y el medio ambiente.

En algunas ocasiones a los materiales señalados anteriormente, se les incorpora otro material pétreo con objeto de mejorar algunas características físicas del material como granulometría, plasticidad, etc: cualquiera de los materiales pétreos que se pretendan emplear en mezclas asfálticas, es necesario que cumplan con las normas de calidad establecidas en las Especificaciones Generales de Construcción.

La manera comúnmente empleada de hacer uso del asfalto en la elaboración de carpetas para caminos es mezclándolo con un agregado pétreo de características conocidas. Sin embargo, no cualquier tipo de agregado pétreo puede emplearse en forma adecuada para formar carpeta. De ahí la necesidad de que se conozcan sus características físicas para saber si es apto o no. Para conocer las características físicas de los agregados que se pretendan emplear en la elaboración de carpetas asfálticas es necesario llevar acabo pruebas de laboratorio tales como peso volumétrico seco y auelto, granulometría, densidad y absorción, desgaste, adherencia con el asfalto, índice de plasticidad, contracción lineal etc. En general, los materiales pétreos para concretos asfálticos y mezclas en el lugar deben llenar los siguientes requisitos.

a) No deben emplearse agregados pétreos que presenten más del 35% en peso, de fragmentos en forma de laja o que tengan marcada

tendencia a romper en forma de lascas cuando se las tritura. Generalmente se consideran como lascas las que tienen una longitud mayor de tres veces la dimensión menor del agregado.

b) No deben emplearse agregados pétreos que contengan materia orgánica en forma perjudicial o arcilla en grumos.

c) Los agregados pétreos no deben tener más del 20% de fragmentos suaves.

d) Los agregados pétreos deben emplearse de preferencia secos o cuando mucho con una humedad igual a la de absorción de ese material. En caso contrario, deben emplearse un aditivo en el asfalto.

e) El tamaño máximo del agregado pétreo no deberá ser mayor que las 2/3 partes del espesor de la carpeta proyectada.

f) Tener suficiente resistencia para soportar, sin romperse, las cargas del equipo de compactación.

g) La porción que pase la malla Num.40 no debe tener una contracción lineal mayor de 3% para materiales que, en mezclas en el lugar su granulometría caiga en la zona número uno, ver figura 9, y del 2% si cae en la zona número dos. Para los concretos asfálticos la contracción lineal debe ser igual o menor a 2%.

h) Los materiales pétreos deben llenar características granulométricas tales que su curva graficada deben quedar dentro de las zonas marcadas.

i) El desgaste determinado con la máquina de los Angeles no debe ser mayor de 40%.

j) La absorción del material pétreo no debe ser mayor de 5%.

k) La densidad aparente del material pétreo no debe ser menor de 2.3.

ZONA DE ESPECIFICACION GRANULOMETRICA PARA MATERIALES PETREOS QUE SE EMPLEAN EN CONCRETOS ASFALTICOS

a)

b)

ABERTURA EN MILIMETROS

ABERTURA EN MILIMETROS

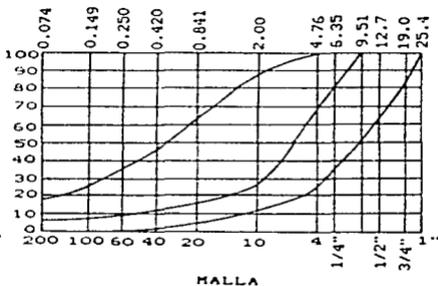
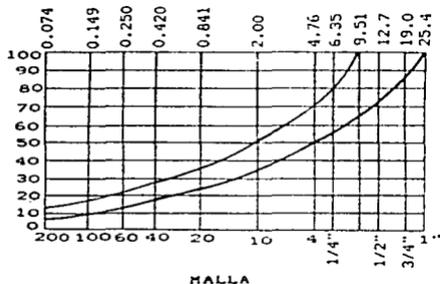


FIGURA 11. Zona en la que deben localizarse las granulometrías de los materiales pétreos para a) concretos asfálticos; b) mezclas en el lugar.

1) El material pétreo debe tener buena adherencia con el asfalto, debiendo satisfacer una de las especificaciones siguientes:

1) Desprendimiento máximo por fricción 25%

2) Cubrimiento máximo con asfalto 90%

3) Pérdida máxima de estabilidad, por imersión en agua 25%

m) El material pétreo debe resistir la prueba de intemperismo acelerado.

### 3.1.1 PRUEBAS DE LABORATORIO PARA AGREGADOS PETREOS

Los agregados pétreos deben cumplir en general, las mismas especificaciones, tanto para carpetas asfálticas en caliente como en frío.

a) PESO VOLUMETRICO SECO Y SUELTO: La obtención del peso volumétrico seco y suelto de los materiales pétreos para carpetas asfálticas tiene por objeto hacer conversiones de pesos de material a volúmenes.

La prueba se realiza de la siguiente manera. Se toma por cuarteos una cantidad determinada de la muestra representativa que se pretende ensayar, se soca y se diagrega para luego llenar un recipiente del volumen conocido dejando caer el material desde una altura de unos 20 cms. Sin apretar dicho material en el recipiente y sin mover éste para evitar que el material se acomode por los movimientos del recipiente. Hecho lo anterior el

material se enrasa dentro del molde y se pesa; a este peso se le resta el peso del recipiente y se divide entre el volumen del mismo obteniéndose así, el peso volumétrico seco y aulito del material.

b) GRANULOMETRIA: La determinación de la composición granulométrica de un material pétreo que se pretenda emplear en la elaboración de las carpetas asfálticas, es de primordial importancia porque en función de ellas se puede conocer de antemano que clase de textura tendrá la carpeta. La prueba granulométrica se ejecuta de la siguiente manera: Se pesa una determinada cantidad de material obtenido por cuarteos de la muestra representativa y se pasa por las mallas de 1", 3/4", 1/2", 3/8", 1/4", Num 4, 10, 20, 40, 60, 100 y 200 anotándose los retenidos en cada malla. Se calcula el retenido parcial con respecto a la muestra ensayada. Después se calculan los porcentajes acumulativos y luego los porcentajes pasados. Con estos últimos se dibuja la curva granulométrica del material, empleando un eje de coordenadas y anotando en el eje de las ordenadas, a escala aritmética, los porcentajes pasados y en el eje de las abscisas a escala logarítmica, las aberturas de las mallas. Observando en que zona de granulometría cae el material ensayado, según lo mostrado por las especificaciones, se puede decir si el material está bien o mal graduado y que textura tendrá la carpeta que se elabore con dicho material.

c) DENSIDAD Y ABSORCION: Para ejecutar las pruebas de densidad y absorción de los materiales pétreos que se emplearán en la elaboración de carpetas asfálticas, se toma material retenido en la malla de 3/8" y se pone a saturar durante 24 horas, después de la cual se extrae el material del agua y se seca superficialmente con un lienzo absorbente inmediatamente se pesa (Ph).

En esas condiciones se sumerge el material en un picnómetro con agua y se observa que cantidad de ella desaloja, anotándose dicho volumen de agua como V. Se extrae el material y se pone a secar en un horno durante 12 horas a temperatura de 100 a 110 °C. Después de ello se saca el material del horno, se deja enfriar y se pesa obteniéndose el peso seco (Pa). Con estos datos se obtiene la densidad y la absorción del material así:

$$\text{Densidad aparente} = Pa/V$$

$$\% \text{ de absorción} = ((Ph - Pa) / Pa) \times 100$$

Los resultados obtenidos se comparan con las especificaciones correspondientes.

d) DESGASTE: Esta prueba tiene por objeto conocer la calidad del material pétreo desde el punto de vista de su desgaste y sea por el grado de alteración del agregado, por la presencia de plenas débiles y grietas de fácil desgaste. Cuando se trate de

analizar el desgaste de los pétreos en trozos se emplea la máquina de Deval, pero cuando se trata de agregados se emplea la máquina de Los Angeles denominándose al resultado Desgaste de Los Angeles. La prueba se realiza de la siguiente manera: se toma la muestra a ensayar se lava para eliminar el polvo que tenga adherido y luego se seca a temperatura constante en un horno y después se criba a través de las mallas 3", 2 1/2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 1/4", Num 3, Num 4, Num 8 y Num 12 para conocer su graduación. Luego se emplea una cantidad determinada de cada tamaño para ejecutar la prueba, así como el peso en kg de la carga abrasiva y el número de revoluciones que se le deberá dar a la máquina. La muestra seleccionada se pesa P1, se coloca junto con las esferas en la máquina y ella se hace girar hasta completar las revoluciones especificadas. Se saca la muestra de la máquina y se lava a través de la malla Núm. 12 secando el retenido de ésta en un horno y se pesa P2. La pérdida por desgaste será:

$$\% \text{ de desgaste} = ((P1-P2)/P2) \times 100$$

e) ADHERENCIA CON EL ASFALTO: Esta prueba tiene por objeto el conocer si el material pétreo que se pretende emplear en la elaboración de carpetas es de características hidrofílicas o hidrofóbicas. Se dice que un material es hidrofílico, cuando tiene más afinidad por el agua que por el asfalto, e hidrofóbico en caso contrario. Si un material empleado para formar carpeta

asfáltica es hidrofílico, dicho material atraerá el agua y desalojará a la película de asfalto que lo recubre y por lo tanto queda destruida la adherencia existente entre el agregado y el asfalto y por ende se presentará la falla de la carpeta por la pérdida de estabilidad al separarse de asfalto. De lo anterior se puede deducir que es imprescindible el conocer con anterioridad las características que presenta el agregado con relación a la adherencia con el asfalto.

La falta de adherencia del asfalto con el material pétreo puede presentarse por la presencia de una película fina de polvo adherido al material pétreo o debida a las características hidrofílicas del material que no es más que un fenómeno de tensión superficial entre las fases agregado-asfalto-agua.

Las características hidrofílicas de un material pétreo puede ser modificadas empleando agentes químicos con lo cual se mejora mucho la adherencia del material con el asfalto.

Para conocer si un material tiene una buena o mala adherencia con un determinado asfalto, debe ejecutarse la prueba de Desprendimiento por fricción. El procedimiento consiste en verificar por duplicado la prueba de desprendimiento por fricción, tomando como testigo un material que haya comprobado tener buena afinidad con el asfalto.

De la mezcla preparada en las mismas condiciones como se va a emplear en la obra, se toma una 300 gra. y se colocan en un frasco de vidrio y se le agrega agua hasta cubrir dicha mezcla, dejándola en reposo durante 24 horas. Si después de este tiempo

el desprendimiento del asfalto del agregado es de consideración, el material puede clasificarse como altamente hidrofílico.

Si no ha ocurrido un desprendimiento apreciable de la película de asfalto, el frasco con su contenido deberá agitarse vigorosamente por tres periodos de cinco minutos cada uno, debiendo examinarse la mezcla dentro del frasco después de cada agitada de cinco minutos. Si no se note un desprendimiento de asfalto al terminar el tercer periodo de agitación, o que haya habido un desprendimiento ligero comparada al de testigo, puede considerarse como adherencia normal con el asfalto.

En caso contrario, se dirá que el material tiene adherencia regular o baja, según sea el desprendimiento ocurrido del asfalto siendo necesario aumentar dicha adherencia ya sea empleando un adionante, o tratando de ver si dicha adherencia se mejora cambiando el tipo de asfalto, triturando el material a un tamaño menor o lavando el agregado pétreo.

f) CONTRACCION LINEAL: La contracción lineal de los finos del material pétreo, nos indican la presencia de mucha o poca actividad de las arcillas que contenga. Si la arcilla se presenta en forma de película delgada adherida al material pétreo, provoca una baja adherencia del asfalto con el agregado pétreo. Si la arcilla se encuentra en grumos o terrones, serán puntos débiles y de falla de la carpeta, en presencia de agua.

La contracción lineal es la disminución en una dimensión de la masa del suelo expresada como un porcentaje de la dimensión

original cuando su contenido de humedad se reduce desde una cantidad igual a humedad del límite líquido del material hasta el límite de contracción del mismo.

#### g) DETERMINACION DE LA PERDIDA POR INTemperISMO ACELERADO:

La prueba de intemperismo acelerado, sirve para determinar la resistencia a la desintegración de los agregados pétreos, causada por los esfuerzos desarrollados al formarse cristales de sulfato de sodio o de magnesio en los huecos o fisuras del agregado, en un índice del grado de alteración que puede alcanzar éste por la acción de los agentes atmosféricos. Estos datos son muy valiosos, principalmente cuando no se cuenta con información adecuada del comportamiento del material expuesto a las condiciones de intemperismo existente en la región. Deberá hacerse únicamente cuando se tengan dudas acerca de la calidad del material que pretenda emplearse en la elaboración de carpetas asfálticas.

El procedimiento de prueba se realiza preparándose una solución saturada de sales en agua, de manera de obtener no solamente una saturación, sino la presencia en exceso de los cristales al momento de hacer la prueba. La disolución se hace a una temperatura de 21° C por lo menos cuarenta y ocho horas antes de emplearla.

Las muestras de material de cada tamaño, previamente secadas en horno hasta temperatura constante se colocarán por separado en charolas que contengan la solución saturada de sulfato de sodio o

magneo, de manera que quede perfectamente cubiertas y se mantendrán por espacio de dieciseis a dieciocho horas a temperatura de 21 °C. Finalizando el período de saturación las muestras se secarán hasta temperatura constante, de 100 a 110 °C se dejará enfriar y se colocará nuevamente en el recipiente con una solución de sulfato de sodio o magnesio. El ciclo anterior se repetirá cinco veces y al terminar el último se lavarán las muestras hasta eliminar todo el sulfato de sodio o magnesio, después de lo cual se secarán hasta peso constante.

Cada muestra se cribará sobre malla inferior y se anotará el peso del material retenido; la diferencia de este peso con el peso original expresada en porcentaje de este último, representará la pérdida por intemperismo de cada tamaño ensayado. Se calcula la pérdida total por intemperismo acelerado del material grueso (retenido en la malla Núm. 4) multiplicando los porcentajes de cada tamaño ensayado, por la pérdida determinada y dividiendo entre cien estos productos. La suma de ellos representará la pérdida total del material ensayado.

### 3.1.2 CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO PARA CARPETAS

En la determinación del contenido de Cemento Asfáltico (C.A.) en el proyecto de las mezclas asfálticas se determinará:

- 1) El Contenido Mínimo de Cemento Asfáltico.
- 2) El Contenido Óptimo de Cemento Asfáltico.

Determinación del contenido mínimo de cemento asfáltico por el procedimiento del Área superficial: Este procedimiento es aplicable a materiales graduados que contienen cierta cantidad de finos. Primeramente, conociendo la composición granulométrica del material pétreo, se calcula el contenido de cemento asfáltico.

Este método está basado en la estimación de la superficie de los agregados pétreos por cada kilogramo de material. Para hacer dicha estimación se hace uso de las siguientes constantes de área en metros cuadrados por kilo de material pétreo.

Material pasa malla 1-1/2"	y se retiene en 3/4"	0.27 m <sup>2</sup> /kg mat
Material pasa malla 3/4"	y se retiene en # 4	0.41 m <sup>2</sup> /kg mat
Material pasa malla # 4	y se retiene en # 40	2.05 m <sup>2</sup> /kg mat
Material pasa malla # 40	y se retiene en #200	15.3 m <sup>2</sup> /kg mat
Material pasa malla #200		55.3 m <sup>2</sup> /kg mat

Cada una de estas constantes se multiplica por los porcentajes de partículas entre las mallas correspondientes, dando por resultado que se obtengan determinadas superficies por kilogramo de material. Se suman todas las superficies calculadas y el resultado se multiplica por el Índice Asfáltico, que varía de 0.0055 a 0.01385, de acuerdo con la rugosidad y la porosidad de los agregados. Con el siguiente ejemplo podrá verse claramente la aplicación de las constantes de área y del Índice Asfáltico. Para el objeto deseado se considerará un Índice Asfáltico de 0.008.

Supóngase que los agregados pétreos tienen la siguiente composición granulométrica.

Mat. pasa la malla 3/4"	y se retiene en malla #4	35% =0.35
Mat. pasa la malla #4	y se retiene en malla #40	45% =0.45
Mat. pasa la malla #40	y se retiene en malla #200	15% =0.15
Mat. pasa la malla #200		5% =0.05
		100% =1.00

Multiplicando estos porcentajes por las constantes de área se tiene:

$0.35 \times 0.41 = 0.144$	m <sup>2</sup> /kg de material pétreo
$0.45 \times 2.05 = 0.923$	m <sup>2</sup> /kg de material pétreo
$0.15 \times 15.38 = 2.310$	m <sup>2</sup> /kg de material pétreo
$0.05 \times 53.30 = 2.665$	m <sup>2</sup> /kg de material pétreo

$$\text{Contenido de cemento asfáltico} = 0.059 \times 0.008 = 0.0485$$

kilogramos de cemento asfáltico por cada kilogramo de material pétreo, o sea 4.85 Kg de C.A. por cada 100 kg. de material pétreo, o lo que es lo mismo, 4.85% de cemento asfáltico en peso.

El porcentaje de C.A. obtenido debe convertirse a porcentaje de producto asfáltico, ya sea un rebajado o una emulsión asfáltica, que se vaya a emplear, tomando en cuenta el contenido de residuo asfáltico del mismo. A continuación se anotan los índices asfálticos más comunes:

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

Material pétreo:Índice Asfáltico

Gravas y arenas o materiales redondeados de baja absorción.	0.005
Gravas angulosas o redondeadas, trituradas de baja absorción.	0.0060
Gravas angulosas o redondeadas de alta absorción y rocas trituradas de media absorción.	0.0070
Rocas trituradas de alta absorción.	0.0080

Se considera una absorción como baja a la que es menor de 2%, absorción mediana a la comprendida entre 2% y 4%, absorción alta a la mayor de 4%.

La prueba de contenido óptimo de asfalto por la prueba de compresión sin confinar, para mezclas en el lugar. Ya obtenido el

contenido mínimo se preparan 6 mezclas, con 3 kg de material pétreo, una con ese porcentaje de asfalto, otra con 0.5% menos y cuatro contenidos cada una de ellas: 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2% más, respectivamente.

Con cada una de estas mezclas, con los solventes debidamente evaporados ("deasfluxados") y a la temperatura de 40 °C, se elabora un espécimen, utilizando un molde metálico de 10 cm de diámetro, con tal cantidad de material pétreo que al dársele una compactación por medio de una presión de 40 kg/cm<sup>2</sup>, se tenga una altura en él de 12 ± 05 cm. Al cabo de 2 horas, en las que todos

los especímenes tengan la temperatura ambiente, se meten en agua a 20 °C protegidos con bolsas de plástico, durante 30 min y el cabo de este tiempo se llevan a la ruptura y se obtienen los porcentajes de asfalto correspondientes. a continuación se forma una gráfica en la que en las abscisas se coloca este dato y en las ordenadas el esfuerzo de ruptura; se muestra una gráfica típica. ver figura 12.

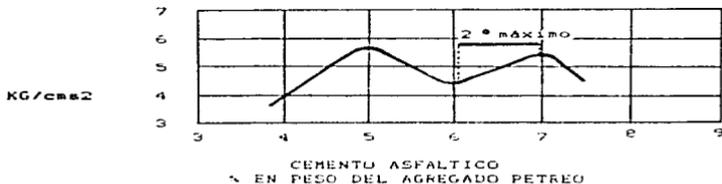


FIGURA 12 CONTENIDO ÓPTIMO se localiza dentro de la curva correspondiente al 2º máximo.

El contenido óptimo de asfalto se encuentra en la parte ascendente del segundo máximo. Para recomendar el contenido óptimo de asfalto deberá observarse con cuidado las mezclas y de ese modo tener una base mejor para su decisión.

Determinación del contenido óptimo de Cemento Asfáltico por el Método de Marshall.

Este método está limitado al proyecto y control de mezclas asfálticas elaboradas en planta estacionaria, en caliente, empleando cemento asfáltico. Con la prueba de Marshall se determinan los valores de estabilidad y de flujo en especímenes cilíndricos, compactados axialmente con un sistema determinado y probados a 60 °C. El valor de estabilidad se determina midiendo la carga necesaria para producir la falla del espécimen, aplicada en sentido normal a su eje. La deformación vertical producida en el espécimen por dicha carga será el valor del flujo. El valor de estabilidad expresa la resistencia estructural de la mezcla compactada, y está afectado principalmente por el contenido de asfalto, la composición granulométrica y el tipo de agregado.

Principalmente el valor de estabilidad es un índice de la calidad del agregado. El valor de flujo representa la deformación requerida, en el sentido del diámetro del espécimen, para producir la fractura. Este valor es una indicación de la tendencia de la mezcla para alcanzar una condición plástica, y consecuentemente de la resistencia que ofrecerá la carpeta asfáltica a deformarse bajo la acción de las cargas impuestas por los vehículos.

Para cada contenido de cemento asfáltico se fabricarán tres especímenes cada uno de los cuales requieren 1200 gramos de agregado pétreo. Se toma de cada uno de los tamaños mencionados la cantidad de muestra que resulta de multiplicar el porcentaje

en peso de cada fracción por el peso total de la muestra. Las fracciones ya pesadas se mezclarán previamente a la adición del cemento asfáltico. La cantidad de cemento asfáltico que deberá agregarse a cada muestra se calculará sobre la base de contenido mínimo de cemento asfáltico que se determina como ya se indicó.

Se mezclarán los agregados y el cemento asfáltico, calentados previamente a las temperaturas de  $175^{\circ}\text{C}$  y  $120^{\circ}\text{C}$ , respectivamente, hasta obtener una distribución uniforme del cemento asfáltico. La temperatura de la mezcla no debe ser menor de  $100^{\circ}\text{C}$  al momento de elaborar el espécimen.

Para compactar los especímenes de mezcla asfáltica se procederá así: El pisón de compactación y el molde se calentarán en un baño de agua hirviendo. Una vez caliente se sacará el equipo del baño y se colocará un papel filtro en el fondo del molde y se llenará éste con la mezcla caliente. Se apoyará el pisón sobre la mezcla y se aplicarán 50 golpes con la pesa dealizante. La cara del pisón será mantenida paralela a la base del molde durante el proceso de compactación. Se quitará el collarín y se aplicarán otros 50 golpes en el espécimen. El proceso de compactación anteriormente descrito se aplicará al estudio de mezclas proyectadas para recibir presiones de contacto que no excedan de  $7\text{ kg/cm}^2$ . El número de golpes en cada cara del espécimen deberá aumentarse a 75 cuando las mezclas se proyecten para recibir presiones de contacto comprendidas entre  $7$  a  $14\text{ kg/cm}^2$ . Se removerá el collarín y la placa de base, y el molde con su contenido se sumergirá en agua fría por un tiempo mínimo

de dos minutos. Se extraerá el espécimen del molde, se identificará y se dejará enfriar a la temperatura ambiente durante 12 a 24 horas. Los especímenes compactados deberán tener una altura de 6.35 cm, con una tolerancia de 3.2 mm y en caso contrario deberá repetirse el proceso.

Prueba a compresión de los especímenes: Se sumerge el espécimen en el tanque con agua a la temperatura de  $60^{\circ}\text{C}$  con medio grado de tolerancia y se mantendrá ahí durante 20 a 30 minutos. Mientras los especímenes se encuentran en el tanque de agua, se limpia la superficie del anillo seccionado y se lubricarán los postes guía de tal manera que la sección superior del anillo seccionado se le deslice libremente, se ajustará a cero el extensómetro del anillo de carga. Terminando el periodo de inmersión en agua caliente se sacará el espécimen del agua y se secará su superficie. Se colocará el espécimen entre las dos secciones de la cabeza de prueba y se centrará el conjunto en la máquina de compresión. Se colocará el medidor de flujo en el poste guía y se ajustará a cero su carátula. Se aplicará la carga al espécimen a una velocidad constante de 5 cm sobre minuto hasta que la falla de espécimen ocurra. La carga máxima aplicada para producir la falla del espécimen a la temperatura de  $60^{\circ}\text{C}$  se debe registrar como el valor de estabilidad Marshall. Mientras la prueba se lleve a cabo se debe sostener firme el medidor de flujo sobre el poste guía y se renovará tan pronto se haya aplicado la carga máxima, anotándose la deformación sufrida por el espécimen. Esta lectura en milímetros expresa el valor del

flujo. Se promediarán los valores de estabilidad y de flujo de los tres espécimenes con el mismo contenido de cemento asfáltico, debiendo desecharse para el cálculo el valor que discrepe notablemente.

La prueba anteriormente descrita debe completarse dentro de un periodo de treinta segundos contados a partir del momento en que los espécimenes sean sacados del tanque de agua caliente.

Con los datos obtenidos se dibujan cuatro gráficas, en las que cada una se coloca, en las abscisas el porcentaje de asfalto y en las ordenadas el peso volumétrico, la relación de vacíos, carga de ruptura o estabilidad y por último, el flujo en milímetros.

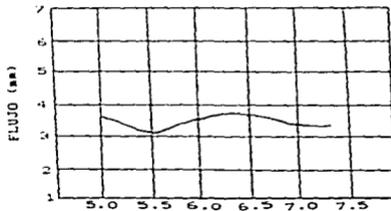
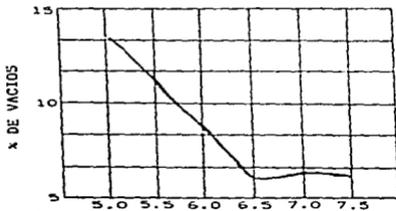
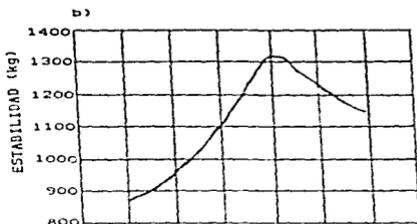
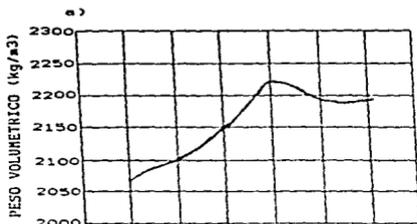
Con estas gráficas se encuentra el contenido óptimo de asfalto (cemento asfáltico) de la siguiente manera:

- Se encuentra el contenido para el máximo peso volumétrico.
- Se encuentra el contenido para la máxima estabilidad.
- Se encuentra el contenido para el flujo de 4.5 mm
- Se encuentra el contenido para la relación de vacíos de 5.5%

El contenido óptimo de asfalto es el promedio de los 4 contenidos anteriores, y para éste se localiza en las gráficas el peso volumétrico que se denomina de proyecto, la estabilidad, relación de vacíos y el flujo correspondiente.

PRUEBA MARSHALL

86



Gráficas para calcular el contenido óptimo de asfalto de acuerdo al método Marshall para concreto asfáltico (a) Peso Volumétrico, (b) Estabilidad, (c) Relación de Vacíos, (d) Flujo. En las abscisas se tienen contenidos de asfalto en porcentaje de peso de pétreas.

### 3.2 CARPETAS ASFALTICAS DE 1,2 y 3 RIEGOS

Consiste en la aplicación de una o varias películas continuas de ligante asfáltico sobre la superficie a tratar y una o varias capas de agregado de cubrición de tamaño uniforme. Las capas de agregado entrarán formadas por una sola gravilla en su espesor.

Se construyen mediante uno, dos o tres riegos de material asfáltico, cubiertos sucesivamente con capas de materiales pétreos de diferentes tamaños, triturados y/o cribados.

#### 3.2.1 EJECUCION DE LOS RIEGOS CON AGREGADOS

Carpetas de 1 riego: Después de que se haya dado un riego de impregnación FM-0 a razón de 1.2 l/m<sup>2</sup> y haya curado durante 24 horas por lo menos, se aplica el material asfáltico directamente sobre la capa de base que ha recibido la impregnación.

El traslape de las aplicaciones de materiales asfálticos en la unión de dos aplicaciones producen un exceso de asfalto que fluye a la superficie y origine una situación de inestabilidad y un aspecto desagradable del riego terminado. Las lagunas o aplicaciones escasas en las uniones dan lugar a retención de poca o ninguna gravilla y el retoque es necesario inmediatamente .

Para eliminar estos defectos al final de una aplicación y comienzo de otra, las aplicaciones de material asfáltico deben espesar y terminar todas sobre una o más tiras de papel de

construcción o de envolver, colocado a través del camino antes de iniciar el trabajo. El borde anterior del papel se coloca de tal forma que coincida exactamente con el borde del material asfáltico aplicado en el último lugar, para mantener este en su sitio se coloca sobre él una pequeña cantidad de grido.

A continuación la petroliadora inicia sus movimientos hacia adelante, a suficiente distancia detrás del borde anterior de las tiras de papel, para alcanzar la velocidad predeterminada en el momento en que la barra regadora alcanza el papel de manera que el peso del material asfáltico a través de la barra distribuidora se abre cuando ésta pasa sobre el papel, y el primer material se riega sobre este antes de alcanzar su borde anterior. Después se retira el papel y se destruye. Así se obtiene un borde bien definido de la capa de ligante asfáltico aplicado a la base sobre la impregnación.

Como las aplicaciones de material asfáltico se determinan sobre una o más tiras de papel, situadas a través del camino o de la zona en la que se está aplicando el material, es necesario que el papel se coloque antes del comienzo de la operación. La posición de este para terminar una aplicación se determina calculando la distancia que debería cubrirse por la capa del material asfáltico que lleva la petroliadora y situando el papel a suficiente distancia por delante de este punto teórico para que al alcanzarlo queden en el tanque de 200 a 300 litros de material. El peso del asfalto se corta cuando la barra llega al papel, al mismo tiempo que se detiene el avance del camión, de

forma que todo el material que gotee de la barra caiga sobre aquel. Después de quitar el papel queda otro borde bien definido de material asfáltico, que permite obtener un buen enlace con la aplicación siguiente: no se debe intentar aplicar toda la carga del distribuidor, porque cuando el material baja demasiado en el tanque, la bomba empieza a aspirar material mezclado con aire y el caudal deja de ser uniforme.

Para asegurar una alineación adecuada de la aplicación del material asfáltico se ataranta una cuerda a lo largo del peso o cerca del borde de la aplicación, de modo que sirva de guía al conductor de la petrolizadora.

Inmediatamente después de la aplicación del material asfáltico se extienden los materiales pétreos por medio de un esparcidor mecánico, con el fin de aprovechar la fluidez del asfalto y obtener la adherencia de la máxima cantidad de pétreos. En determinadas condiciones puede ser necesario reducir la longitud de la aplicación del asfalto para que pueda ser cubierto con los áridos en un tiempo máximo especificado.

Tan pronto como se han extendido el material asfáltico recién aplicado, debe espionarse toda la superficie con una sola pasada de un rodillo de llanta metálica; en seguida puede berrerse la superficie con una barredora arrastrada o pasar una hoja ligera para obtener una diatribución más uniforme de los áridos. A continuación debe procederse al espionado con rodillo de llanta rígida o de neumático, o con una combinación de ambos

tipos, hasta conseguir una perfecta adherencia de los materiales pétreos con el material asfáltico.

Transcurrido un tiempo no menor de trece días se recolectará mediante barrido y se removerá el material pétreo excedente que no se adhiera al material asfáltico.

El resultado final se muestra en la siguiente figura 13.

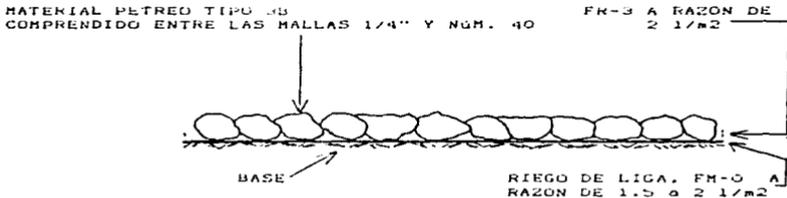


FIGURA 13 La proporción adecuada entre el material pétreo y el asfalto, con la gravilla hundida en un 50% aproximadamente.

La idea general es que las llantas rueden sobre el material pétreo ya que como el asfalto y el agua no son miscibles, si la llanta rueda directamente sobre el asfalto con el agua se produce una superficie resbalosa.

Carpetas de dos riegos: Sobre la base de pavimento ya conformada, impregnada y seca, se dá un riego de producto asfáltico tipo FR-3 a razón de 2 litros por metro cuadrado e

inmediatamente se cubre con material pétreo número dos (clasificado entre las mallas de 1/2" y 1/4") a razón de unos 12 a 14 litros por metro cuadrado, se rastrea y se plancha con aplanadora liviana de 5 a 8 ton de peso. Dos o tres días después se barre y se le dá un nuevo riego de producto asfáltico FR-3 a razón de 1.5 a 2 litros por metro cuadrado y se cubre inmediatamente con el material pétreo Num 3B ( clasificado entre las mallas de 1/4" y Num 8). Se rastrea para uniformizer la superficie, y se plancha con aplanadora pequeña de 5 a 8 ton. de peso. Tres días después puede abrirse al tránsito. Posteriormente debe retirarse el material pétreo sobrante. Este tipo de carpeta asfáltica es aconsejable para un tránsito inferior a 600 vehículos por día.

A continuación se da por pasca el procedimiento

- a) Se barrerá la base impregnada
- b) Sobre la base superficialmente seca se dará un riego de material asfáltico( generalmente FR-3 o emulsión de rompimiento rápido)
- c) Se cubrirá el riego de material asfáltico con una capa de material pétreo número 2
- d) Se rastreará y planchará el material pétreo
- e) Se dará sobre el material pétreo un segundo riego de material asfáltico
- f) Se cubrirá el segundo riego de material asfáltico con una capa de material pétreo 3B
- g) Se rastreará y planchará el material pétreo

h) Transcurrido un tiempo no menor de tres días se recolectará y removerá el material pétreo 3B excedente que no se adhiera al material asfáltico del segundo riego. FIGURA 14.

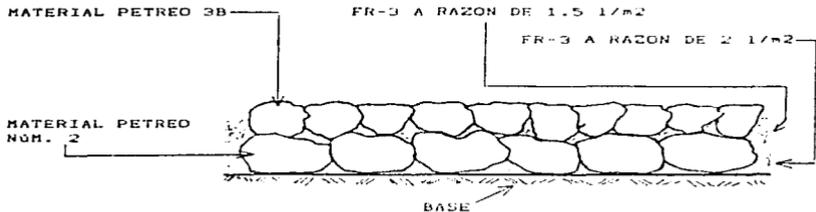


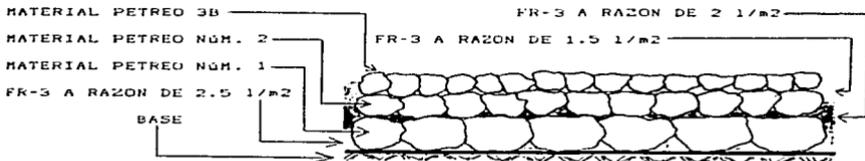
FIGURA 14 CARPETA DE DOS RIEGOS.

Carpeta de tres riegos: La carpeta asfáltica formada por tres riegos se construye de la siguiente manera: sobre la base del pavimento conformada, impregnada y seca se da un riego de producto asfáltico del tipo FR-3 a razón de 2.5 litros por metro cuadrado e inmediatamente se cubre con material pétreo número 1 (clasificado entre las mallas 1" y 1/2") a razón de 20 a 22 litros por metro cuadrado, se rastrea y se plancha con aplanadora pequeña de 5 a 8 ton. de peso. Dos o tres días después se barre el material pétreo sobrante y se coloca una carpeta de dos riegos sobre ésta, quedando así terminada la carpeta de tres riegos.

Esta carpeta asfáltica admite perfectamente bien los 1000 vehiculos por día.

A continuación se da por pasos el procedimiento

- a) Se barrerá la base impregnada
- b) Sobre la base superficialmente seca se dará un riego de material asfáltico (generalmente FR-3 o emulsión de rompimiento rápido).
- c) Se cubrirá el riego de material asfáltico con una capa de material pétreo número 1.
- d) Se rastreará y planchará el material pétreo
- e) Se dará sobre el material pétreo un segundo riego de material asfáltico
- f) Se cubrirá el segundo riego de material pétreo número 2
- g) Se rastreará y planchará el material pétreo
- h) Se dará sobre el material pétreo un tercer riego de material asfáltico
- i) Se cubrirá el tercer riego de material asfáltico con una capa de material pétreo 3B
- j) Se rastreará y planchará el material pétreo
- k) Transcurrido un tiempo no menor de tres días se recolectará y recoverá el material pétreo excedente que no se adhirió al material asfáltico del tercer riego. FIGURA 15.



### 3.2.2 APLICACIONES

Los riegos con agregados se utilizan para dotar al pavimento de una superficie rugosa e impermeable.

Este tipo de tratamiento es la técnica más utilizada en la conservación de carreteras, extendiendo limitado su uso en pavimentos urbanos, zonas de estacionamiento y pistas de aeropuertos debido a las molestias del rechazo de gravillas. Su utilización en autopistas se ha incrementado por el empleo de agregados y ligantes asfálticos de gran calidad.

Los factores negativos más importantes para el uso de los riegos con agregado son: el mal estado de la superficie del pavimento anterior y el mal tiempo climatológico, aún cuando el empleo de las emulsiones amplía la época de trabajo, los mejores resultados se obtienen en épocas cálidas.

### 3.3 PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION DE MEZCLAS EN FRIO

Tratando de encontrar una solución que no obligue al uso del calentamiento del material pétreo en la construcción de las carpetas se ha recurrido a dos procedimientos para abatir la viscosidad del cemento asfáltico

1) Agregar un disolvente del asfalto que actúe como vehículo para facilitar su manejo y aplicación al material pétreo y que posteriormente se eliminaría casi totalmente por evaporación.

2) Emulsionar el asfalto para que en forma de pequeñas glóbulas se mantega en suspensión en agua y que al contacto con el material pétreo se produzca un rompimiento de la emulsión depositándose el asfalto en forma de película en la superficie del agregado.

### 3.3.1 CARPETAS DE MEZCLAS ELABORADAS EN EL LUGAR

El procedimiento de construcción para este tipo de carpetas se indica a continuación:

- Elección de bancos, con este fin se hace una exploración de la zona que atravesará la obra y sus alrededores; en seguida, se muestrean los bancos de depósitos en ríos y arroyos, los materiales de mina, los bancos de conglomerados y las rocas que pudieran utilizarse y al final, tomando en cuenta la calidad de las mezclas elaboradas y los estudios económicos, se elegirán los bancos a utilizarse en la obra que se trate, ver FIGURA 16.
- Ataque de los bancos, si se trata de materiales conglomerados o de roca firme se tendrá que hacer uso de explosivos y la extracción se hará con palas frontales o palas mecánicas; si se trata de materiales conglomerados la extracción se puede hacer ya sea con cargadores frontales o con dragas, ver FIGURA 17.
- Tratamiento previo, en el caso de las mezclas en el lugar los tratamientos previos pueden ser de cribado o triturado de acuerdo al desperdicio que tienen los materiales, ver FIGURA 18.



FIGURA 16. Elección de Bancos de Material.



FIGURA 17. Ataque al Banco.

- Transporte a la obra, una vez que se ha realizado a los materiales el o los tratamientos previos se transportan a la obra en donde por medio de una motoconformadora se acamellona y se mide el volumen acarreado con lo que se hacen los ajustes necesarios si es que falta o sobra, de acuerdo con los espesores de proyecto. ver FIGURA 19.
- la cantidad de asfalto para regarse en un trazo de longitud determinada, se va abriendo con la motoconformadora el material pétreo, cubriendo parte de la corona de la obra, sobre este material se el FR-3 ó emulsión asfáltica por medio de una petrolizadora. La motoconformadora volverá a abrir material acamellonado (esparcirlo sobre el anterior) y la petrolizadora regará otra parte del asfalto calculado. Esta operación se volverá a realizar hasta que se incorpore, en pasadas completas de la petrolizadora, todo el asfalto necesario. A partir de este momento, la motoconformadora empezará a mezclar el material pétreo y el asfalto, pasandolos de un lado al otro de la corona, hasta que se homogenice completamente. ver FIGURA 20.
- Para que el material pétreo y principalmente las partículas de finos se cubren con la película asfáltica de espesor uniforme, requiere que el asfalto tenga una baja viscosidad mantenida el tiempo necesario para lograr su correcta distribución.
- Una vez alcanzado lo anterior se procede a dar sobre la base impregnada y berrida, un riego de liga con rebajado FR-3 en proporción de 0.7 l/m<sup>2</sup> y de inmediato se extiende la mezcla sobre la corona con un espesor constante; para que no haya segregación



FIGURA 18. Tratamiento Previo Realizado por medio de un Equipo de Trituración.



FIGURA 19. Transporte a la Obra

de materiales, es conveniente que se acamellone toda la mezcla hacia el centro, y que las motoconformadoras lo vayan extendiendo hacia a la orilla a baja velocidad.

- Si el material pétreo contiene un porcentaje elevado de finos por ejemplo entre 7 y 14% de material que pasa la malla Núm. 200 (de 74 micras de abertura) deberán usarse los productos menos viscosos y que retengan por mayor tiempo su baja viscosidad o sean rebajados del tipo de fraguado medio, un FM-3. Cuando el contenido de finos es menor, las condiciones de temperatura son favorables, y la forma redondeada de las partículas de material pétreo facilitan la incorporación del asfalto, pueden emplearse con este sistema rebajados de fraguado rápido de los números 2 o 3.

- En cualquiera de los dos casos es necesario una vez incorporado el rebajado asfáltico, eliminar una determinada proporción de disolvente hasta lograr que la mezcla asfáltica tenga consistencia adecuada para la compactación, ver FIGURA 21.

- Si ello no se logra, el comportamiento de la carpeta asfáltica no va a ser satisfactorio. Si se elimina mayor cantidad de disolvente de lo necesario, la compactación de la mezcla es deficiente por la falta de lubricación entre sus partículas, formando carpeta de mayor permeabilidad que la prevista. Por otra parte, si se deja en la mezcla una mayor cantidad de disolvente pueden presentarse deformaciones en la carpeta ya construida al abrirse el tránsito, por un exceso de lubricación entre las partículas que originen condiciones de baja estabilidad, o bien

se provoca por la acción del tránsito el "llorado" de la carpeta, o sea una migración del asfalto hacia la superficie que hace que ésta pierda sus características antiderrapantes.

- Con el objeto de obtener una carpeta de calidad adecuada, es preciso llevar un riguroso control de laboratorio para verificar que la proporción de disolvente sea la correcta de acuerdo con el tipo de producto asfáltico empleado, las características del material pétreo y las condiciones de temperatura durante la construcción. Para efectuar el control, deberán tomarse muestras de la mezcla durante la operación de desiluxamiento y determinar por pruebas de destilación y disolución la proporción de material asfáltico, agua y disolventes lo cual indicará si se ha eliminado ya la cantidad calculada de éste último o en caso contrario, si es preciso continuar la operación de desiluxado con la ayuda de la motoconformadora. La velocidad de evaporación es muy variable, dependiendo del tipo de asfalto rebajado empleado, de las condiciones de temperatura y de la presencia del viento que ayuda a remover el disolvente que se ha evaporado.

- Ya extendida la mezcla, se procede a compactarla para lo cual se puede utilizar rodillos neumáticos o rodillos lisos o ambas, con pesos entre 8 y 15 ton, hasta alcanzar el 95% del peso volumétrico. Al final de la compactación, se borran las huellas de los neumáticos por medio de un rodillo liso, que cierre a media rueda toda la superficie compactada.

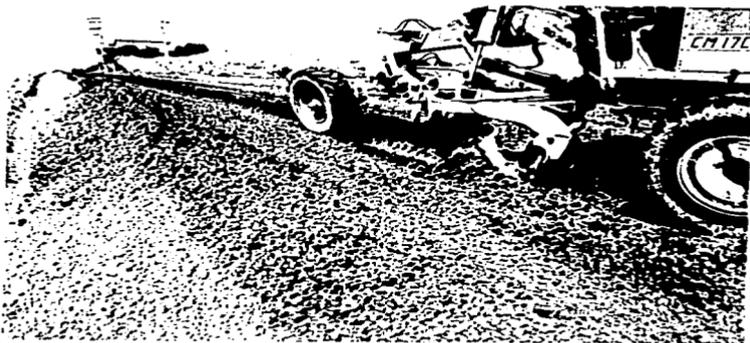


FIGURA 20. Mezclado del Material.



FIGURA 21. Eliminación del Disolvente por medio de Mezclado

### 3.3.2 CARPETAS DE MEZCLA ELABORADAS EN PLANTA MOVIL

Este tipo de mezclas son elaboradas en instalaciones sencillas, son las llamadas lechadas asfálticas también denominada Slurry Seal ó mortero asfáltico; como una mezcla compuesta por emulsión asfáltica suficientemente estable, agregando fino bien graduado, material fino y agua, en proporciones tales que se pueda conseguir una consistencia adecuada para una buena extensión en capa continua y de pequeño espesor.

A diferencia de otras mezclas que tienen un contenido estricto de agua, a las de lechadas asfálticas se les puede aumentar la cantidad de agua en forma considerable, hasta darle una consistencia de lechada. Se aplican sobre una base impregnada o una carpeta asfáltica.

La granulometría será determinada de acuerdo con las especificaciones. La curva granulométrica del material pétreo para mortero asfáltico deberá cumplir en cada caso ver FIGURA 22.

Además debe cumplir con ciertas normas para la elaboración de morteros asfálticos como son las siguientes:

Contracción lineal	2% máximo
Equivalente de arena	40% mínimo
Factor de desgaste con el método de abrasión	10% máximo

y en términos generales deberá quedar comprendida dentro de la zona limitada por los valores siguientes:

MALLA Núm.	Pasa %
8	100
16	85 - 56
30	60 - 35
50	45 - 20
100	30 - 10
200	15 - 5

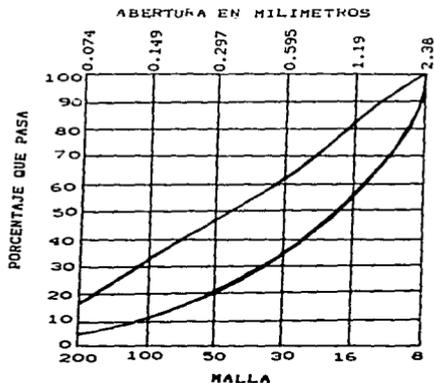


FIGURA 22. Especificaciones de granulometría para mortero asfáltico.

Cuando se requiere un material fino para que el material pétreo cumpla con la granulometría especificada, se podrá utilizar cemento Portland o cal hidratada.

Los materiales asfálticos que se empleen en la elaboración de un mortero asfáltico, serán emulsiones aniónicas o catiónicas.

Antes de aplicar el mortero asfáltico sobre la superficie por tratar, esta deberá estar seca, barrida y limpia de materia extraña y polvo. En términos generales los porcentajes de asfalto y del agua estarán comprendidas en los límites que se indican a continuación. TABLA 6.

COMPONENTES	PROPORCIONES EN PORCENTAJES CON RESPECTO AL PESO SECO DEL MATERIAL PETREO
EMULSION ASFALTICA	18 - 25
AGUA DE MEZCLADO	10 - 25

TABLA 6. Cantidades óptimas para elaborar un mortero asfáltico.

El mortero asfáltico se elabora en una planta móvil que deberán constar de:

a) Depósito de capacidad adecuada para los materiales: Tolva para los materiales pétreos, tanque para emulsión, tanque para agua y

dispositivo para una correcta dosificación durante la producción continua de mortero.

b) Mezclador que asegure la correcta incorporación de los materiales entre sí, con una compuerta para control de descarga.

c) Barra rociadora de agua, para humedecer la superficie por tratar.

d) La parte que realiza el mezclado consta de bombas volumétricas, bandas, medidores de agregado y la tolva mezcladora.

e) Distribuidor que asegure un flujo continuo y el extendido uniforme en todo lo ancho de la cara distribuidora.

f) El esparcido es una raspa con bandas de neopreno para dar el acabado que se requiera, ver FIGURA 23.

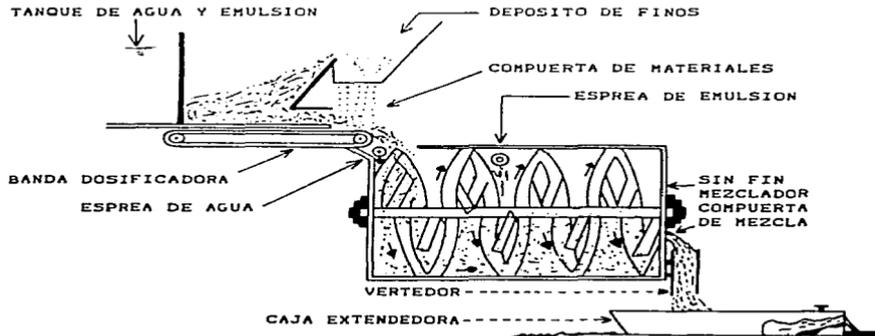


FIGURA 23. Máquina revolvedora extendidora

Para la aplicación del mortero asfáltico se procederá de acuerdo con las etapas siguientes:

- Se limpia la superficie por tratar para eliminar el polvo y materias extrañas.
- Se limpian las grietas de tal forma que asegure la penetración y anclaje del mortero, permitiendo así el relleno de las depresiones que existan.
- Se humedece la superficie por tratar, inmediatamente antes de la aplicación del mortero. La misma máquina aplicadora trae un sistema aplicador.
- El sistema de distribución del agregado conduce éste a un conjunto mezclador, donde se le añade, por este orden el agua, editivos y la emulsión. La salida del producto se efectúa por un vertedero que descarge sobre una rastra extendidora articulada, que permite adaptarse a la forma del pavimento.

Generalmente el mortero asfáltico no se compacta, pues el porcentaje de agregado desprendido por el tránsito es mínimo.

La apertura al tránsito es variable, según, el tipo de mortero a emplear, las técnicas modernas de rociamiento rápido permiten abrir el tránsito en un tiempo en que oscila entre 30 minutos y 2 horas, en función de las condiciones atmosféricas.  
ver FIGURA 24.

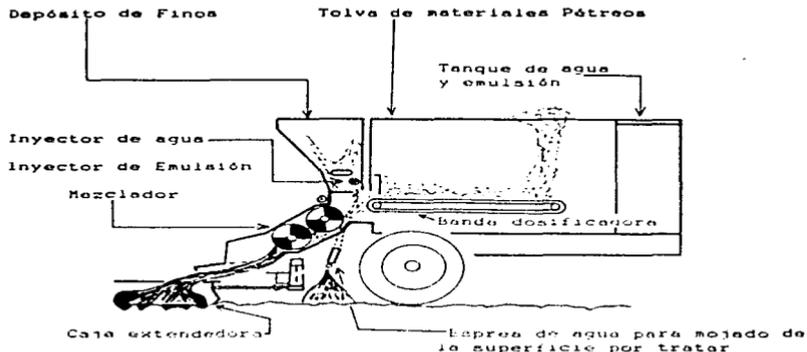


FIGURA 24. Aplicación del mortero asfáltico.

### 3.3.3 APLICACIONES

Las carpetas de mezclas en lugar construidas por este sistema presentan sobre las carpetas de riegos la ventaja de su mayor impermeabilidad, ya que están constituidas por los agregados pétreos cuya graduación se escoge de manera de obtener el menor porcentaje de vacíos. La correcta graduación de las partículas de material pétreo proporcionan a la mezcla asfáltica compactada la estabilidad requerida.

El empleo de este tipo de mezcla en carpetas ha venido a sustituir a los riegos superficiales.

Con el uso del mortero asfáltico se persigue:

- Impermeabilizar superficies de rodamiento abiertas, agrietadas o pobres de asfalto.
- Conseguir una textura superficial, regular, áspera y segura para evitar el deslizamiento de los vehículos.
- Sellar las grietas presentes en el pavimento.
- Impedir el desprendimiento del material pétreo del riego de sello de la carpeta.

### 3.4 PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION DE MEZCLA EN CALIENTE (CONCRETO ASFALTICO)

Las carpetas de concreto asfáltico son mezclas de materiales pétreos y cemento asfáltico; como éste último a temperatura ambiente es sólido, es necesario que la elaboración se efectúe en una planta en la que se calienta hasta 140 °C y por consiguiente, también se calienta el material pétreo, lo que se hace hasta la temperatura de 160 °C.

Debido a las características del cemento asfáltico, este tipo de carpetas tiene características de tipo elástico, con ruptura de tipo frágil y de poca resistencia, principalmente a bajas temperaturas, por lo que este tipo de carpetas no deben construirse sobre bases, con módulos de elasticidad bajas, que puedan tener deformaciones bajo la acción del tránsito.

El material pétreo que se utiliza en este caso, en general es roca triturada del tipo de basalto, andesita o riolita sana, aunque también pueden ser bancos de grava arena de mina, playones de río o arroyo; conviene que estos dos últimos tipos tengan bastante desperdicio de triturar, ya que como muchas veces son materiales redondeados, pueden ser que no pasen las normas de resistencia, pero al triturarse se producen superficies rugosas que mejoran su calidad.

Para este tipo de carpetas las normas indicadas al inicio de este capítulo son muy exigentes en lo que a granulometría relativamente angosta, en donde quedan alojadas en la curva de proyecto.

#### 3.4.1 CARPETA DE MEZCLA ELABORADA EN PLANTA FIJA

El procedimiento de construcción para este tipo de carpetas es el siguiente:

- Se eligen los bancos de material pétreo, que en general serán de roca maciza como basalto, riolita, andesitas, calizas o bien, bancos de conglomerados o aglomerados; pero conviene que estos tengan suficiente desperdicio para ser triturados; si el tipo de material que se va a utilizar por no haber otro tiene un fuerte porcentaje de partículas lisas, es conveniente que se les produzca una superficie rugosa, pasando el material por una trituradora, aunque no sea necesario reducir los tamaños.

Los probables bancos se sondan, ya sea con máquinas rotatorias o a cielo abierto y se realizan las muestreas correspondientes; los materiales se llevan al laboratorio para realizar los pruebas de identificación y por fin hacer la selección de los bancos que se usarán en la obra en esta etapa. Con base en la granulometría se calibra el abastecimiento de la planta mezcladora.

Se hace la extracción del material, para roca y conglomerados duros se necesita explosivos, y para la carga se requieren desde palas manuales en aglomerados hasta palas mecánicas para fragmentos de roca. Se realiza el triturado y cribado del material, para lo cual en general se requiere de una trituradora de quijadas de uno o dos conos o de rodillos, cribas y bandas. Es conveniente que se realicen almacenamientos con 3 o 4 tamaños diferentes, ver FIGURAS 25 y 26.

En la planta de mezclado, se realiza un primer proporcionamiento aproximado de pétreos en frío, por medio de cargadores frontales o utilizando las compuertas de las tolvas, auxiliadas de bandas. Este proporcionamiento se hace para que no haya posibilidad de suspender el mezclado por falta de material de algún tamaño, ver FIGURA 27.

Por medio de elevadores de Cangilones, el material se lleva al cilindro de calentamiento y de accedo aquí el pétreo se calienta entre 150 y 170 °C. En esta etapa, la planta produce una gran cantidad de polvo que se va a la atmósfera, a no ser que se



FIGURA 19. Vista General de Barrida de Materiales.



FIGURA 20. Triturado y Cribado del Material así como Almacenamiento de diferentes tamaños de Agregados.

tenga un equipo especial de captación, que en la actualidad es obligado para evitar la contaminación del aire. ver FIGURA 28.

Ya con la temperatura necesaria, el pétreo se eleva otra vez con cangilones a la unidad de mezclado, en donde, en primer término, se hace un cribado para alimentar 3 o 4 tolvas con material de diferentes tamaños. Se pesa la cantidad de pétreos necesarios de cada una de ellas y se deposita en la caja mezcladora, en donde se provee del cemento asfáltico, a una temperatura de 130 a 140 °C. Se realiza la mezcla hasta su completa homogeneización y por último, se hace el vaciado al equipo de transporte o a un silo de almacenamiento provisional. ver FIGURAS 29 y 30.

Existen dos tipos de plantas de producción discontinua o de "batch" y de producción continua. En la primera, se hace el mezclado en una caja en donde se deposita el pétreo y el asfalto a la temperatura necesaria y por medio de espas se hace el mezclado, hasta su homogeneización en general para llenar un camión, se necesitan de 3 a 4 ciclos de mezclado, en las segundas, el material pétreo y el asfalto se proporcionan en forma continua en un canal en el cual se tiene un tornillo sin fin de tal longitud que al final se tiene la mezcla homogénea y la producción se presenta en forma continua.

Se transporta la mezcla al trazo, a donde debe llegar a una temperatura de 110 a 120 °C, para lo que, si es necesario, se debe utilizar lonas que la cubren durante el trayecto. Antes de colocar la mezcla se debe dar un riego de liga con FR-3.



FIGURA 27. Planta de Mezclado para Concreto Asfáltico.



FIGURA 28. En la parte Interior Derecha Tolvas con Diferentes Tamaños de agregados.

Sobre la base impregnada, en proporción de 0.7 l/m<sup>2</sup>. Al llegar el equipo de transporte al trazo descarga su contenido en la máquina extendedora (finisher) que, forma una franja de mezcla asfáltica, evitando segregaciones del material y dándole una ligera compactación. Al terminar de vaciar un camión la mezcla que acarreo, se para el tren de extendido y luego, al ensamblarse el siguiente, se reanuda el trabajo, por lo que entre vehículo y vehículo se tiene una junta en donde puede haber una discontinuidad que deberá ser evitada o reducida por un equipo de rastrilleros, que en número de 4 o 6 por extendedora, tienen como misión, además de lo anterior la de asegurar la textura conveniente en la superficie y borrar las juntas longitudinales entre franjas. ver FIGURA 31.

A una temperatura mayor de 90° C se debe iniciar la compactación de la franja para lo que al principio se utiliza un rodillo de aproximadamente 7 ton, para dar un primer arado y permitir posteriormente la entrada del equipo, con peso de 15 ton aproximadamente el cual no se puede usar desde el principio, porque produce el desplazamiento de la mezcla. Se pueden utilizar rodillos lisos o neumáticos; al final se debe de borrar las huellas de la compactación, utilizando un rodillo liso. El grado de compactación será de 95% como mínimo con respecto al peso volumétrico de proyecto, que no necesariamente corresponde al máximo. Para conocer este grado de compactación, se debe extraer corezonas con máquinas rotatorias. ver FIGURA 32.



FIGURA 10. El Material  
entres Dale Co.  
cilindro de calentamiento  
planta y es elevado  
por medio de la banda  
conectora.



FIGURA 11. Unidad de  
Mediador



FIGURA 11. Transporte del Material por Medio de una Plancheta.



FIGURA 32. Compactado de la Carpeta por Medio de un Rodillo Liso

## 3.4.2

## APLICACIONES

Este sistema de construcción es el que da lugar a los pavimentos de mayor calidad. Desafortunadamente, estas operaciones de calentamiento, cribado y dosificación, elevan mucho el costo de construcción de la carpeta, a tal grado que en nuestro País solamente se justifica la elección de este sistema de construcción en el caso de camino de tránsito muy pesado e intenso o en una aeropista con operación de aviones pesados.

Además este tipo de mezclas pueden ser transportadas y colocadas inmediatamente después del mezclado o bien almacenarse para uso futuro durante un período de seis a ocho meses. Resultan muy adecuadas para obras de pequeño volumen, cuando no es posible instalar una planta de mezcla en caliente o donde no esta justificado económicamente el transporte de esta instalación.

Por lo que estas mezclas en caliente colocadas en frío proporcionan un tipo excelente de material para bacheos.

## CAPITULO 4      NUEVOS PRODUCTOS PARA LA CONSTRUCCION DE CARPETAS FLEXIBLES

### 4.1      GILSONITA UN MODIFICADOR PARA PAVIMENTOS

Al mezclar la gilsonita con las mezclas calientes se tiene un mayor rango de durabilidad para mejorar la resistencia al desmenuzamiento hasta una mayor estabilidad a continuación se describen este tipo de productos así como las experiencias que se han tenido.

#### 4.1.1      GENERALIDADES

El uso de modificadores para mejorar el rendimiento de los materiales asfálticos de carreteras está aumentando mundialmente. Estos aditivos varían de polímeros y fibras alcalizadas. Un producto que está siendo considerado muy seriamente por los Ingenieros.

La resina Gilsonita, ha sido por mucho tiempo conocido como un reforzador de asfalto y un agente de endurecimiento por lo que ofrece una combinación única de alto rendimiento y economía para aplicaciones de pavimentación de alto esfuerzo.

El beneficio principal de la Gilsonita es el producir mezclas de pavimentos para caminos de estabilidad mucho más alta que las convencionales. Un hidrocarburo único natural, alto en asfaltenos, meltenos y compuestos nitrogenados, la Gilsonita es un sólido granular que es totalmente compatible con el asfalto. Puede ser fundido en el asfalto caliente o puede ser agregado

durante la fabricación de mezclas calientes. En cada caso, la Gilsonita se disuelve fácilmente en el asfalto y requiere solamente un pequeño aumento en el tiempo de mezclado para conseguir una mezcla uniforme fácilmente trabajable en caliente.

La estabilidad incrementada por la Gilsonita fortifica los pavimentos y los hace más resistente a los problemas de deformación además aumenta la capacidad de carga.

Un área de mayor interés es el desarrollo de mezcla para carpeta de alta estabilidad que mantienen buen rendimiento a bajas temperaturas. Los modificadores de mezcla caliente pueden ser una forma efectiva de conseguir estas características de rendimiento deseadas. La resina Gilsonita está probando ser especialmente efectiva, ya sea usada sola o en combinación con ciertos modificadores poliséricos, como una solución a un rendimiento de pavimentos pobres en situación de alto esfuerzo.

La Gilsonita es conocida desde hace mucho como un reforzador y agente de endurecimiento. Se presenta nueva evidencia de que el modificador Gilsonita puede mejorar significativamente la estabilidad del pavimento sobre un rango de condiciones climáticas.

La Gilsonite es un hidrocarburo natural, alto en asfalteno y compuestos nitrogenados y completamente compatible con materiales asfálticos de pavimentación. Forma una solución verdadera estable en asfalto que puede ser incorporada fácilmente pre-disolviéndolo en el asfalto con agitación o por medio del agregado directo durante la fabricación de mezclas calientes.

## 4.1.2 EXPERIENCIAS EN CAMPO

Cuando la Gilaonite es agregada al asfalto, modifica el asfalto para bajar su penetración, aumenta su viscosidad e incrementa su punto de ablandamiento. Para la fabricación de mezclas para pavimentar caminos; la Gilaonite incrementa la estabilidad de la mezcla mejorando la adhesión del asfalto al agregado, reduciendolo así, empujado, surcado y otros tipos de problemas de deformación que ocurren debido al tráfico pesado y a condiciones de alta temperatura.

Reduce la susceptibilidad de la temperatura de la mayoría de los asfaltos de esta manera obteniendo el rendimiento de alta temperatura. ver FIGURA 33.



Asfalto sin Modificar



Asfalto Modificado

FIGURA 33. Comparación entre un asfalto sin modificar y modificado.

La historia de campo de la Gilsenite en aplicaciones de mezclas calientes es muy amplia y a nivel mundial. Los usos exitosos de la Gilsenite van de áreas de alto esfuerzo en la Ciudad de Oslo, Noruega; aproximaciones de casetas de cobro en la autopista de New Jersey en los Estados Unidos, y calles importantes y carreteras en New South Wales, Australia; Francia y Alemania. Además, secciones de ensayos experimentales han sido colocados y están siendo actualmente evaluados en otros cinco países y doce estados de los Estados Unidos.

En muchas situaciones de pavimentos es importante conseguir una estabilidad alta sin comprometer otras propiedades. La Gilsenite ha sido usada exitosamente en áreas "difíciles de pavimentar" las cuales combinan cargas altas con tráfico continuo. Además muchas de las aplicaciones de la Gilsenite han sido en áreas con condiciones climáticas severas, tales como los fríos extremos de la parte norte de los Estados Unidos o en Noruega, o en el calor experimentado en varias partes de los Estados Unidos y Australia. Los siguientes ejemplos ilustran la extensión y variedad de exitosos usos de la Gilsenite.

La Ciudad de Oslo, Noruega ha estado usando la Gilsenite desde comienzos de 1970 en áreas altamente esforzadas. Este uso no es común en lo que respecta a que ellos comienzan con un asfalto duro ( 40 - 50 de penetración ) y agregan de 12 a 15% de Gilsenite para producir un pavimento extremadamente duro. Oslo ha obtenido excelentes resultados en la resistencia de deformación, varias secciones de pavimento funcionando a más del doble de la

vida previa y otra áreas que ofrecen evidencia visual dramática de la resistencia mejorada con remoción. Lo que dá más énfasis es el hecho de que, hasta en los severos climas de Oaio, el uso de Gilsonita no ha creado un problema de desintegración de baja temperatura.

En Nuevo Wales del sur, Australia, la Gilsonita ha sido usada para reducir las deformaciones de pavimento severas en una variedad de situaciones de tráfico de alto esfuerzo. Las inspecciones de los meses 6, 12 y 24 mostraron una significativa reducción en empujado y surcado.

La ejecución de la Gilsonita en Australia es tan positiva que la Asociación de Pavimentos de Asfalto de Australia (AAPA) recomienda que la Gilsonita sea usada como modificador para pavimentos de circulo de tráfico para reducir el empujado del pavimento.

En el puerto de Seattle, en la parte Noroeste de los Estados Unidos, la Gilsonita ha sido usada en áreas de extremo esfuerzo causado por transportadores y contenedores. La Gilsonita fue agregada a nivel del 8% a un asfalto de 60-70 de penetración. El agregado fue hecho directamente a un amasadero usando bolsas derritibles pre-pesadas, las cuales se disolvieron fácilmente. El tiempo del ciclo fue aumentando a 15 segundos para asegurar la mezcla completa.

La autopista de New Jersey ha estado usando la Gilsonita de forma constante por más de cinco años. Con hasta 500,000 vehículos por día, de los cuales el 20% son camiones, la autopista

NJ. es un fuerte deseo para el diseño de pavimentos.

Después de fracasados intentos en usar asfaltos duros para reducir el surcado y empujado, la Gilsonita fue usada como un sustituto para el 10% del asfalto esto casi dobla la estabilidad, y ha resultado en excelente rendimiento de campo. El surcado y empujado fueron virtualmente eliminados sin crear un problema de desintegración a baja temperatura. Se ha registrado el incremento de vida del pavimento de por lo menos de dos años.

En conclusión el trabajo que se ha realizado hasta la fecha demuestra la habilidad de la resina Gilsonita de ser un eficiente reforzador de pavimentos, particularmente para el surcado, empujado y otros tipos de problemas debido a cargas. Además el producto es fácil de incorporar, es más significativo de costo efectivo de otros aditivos y contribuye a reducir la susceptibilidad de la temperatura y a mejorar la resistencia a daños ocasionados por agua.

El uso de la Gilsonita en combinación con polímeros puede potencialmente dar soluciones interesantes y de costo efectivo, a problemas específicos de pavimentos de alto esfuerzo.

#### 4.2 ASFALTO AHULADO

Al utilizar este tipo de asfaltos ahulados se debe de tener mucho cuidado al emplearlo esto debido que puede ser contraproducente por lo que debe tenerse mucho cuidado al emplearse desde el momento de la fabricación hasta su colocación.

#### 4.2.1 DESCRIPCION

El concepto de pavimentos con hule en el asfalto se origino en Inglaterra y Holanda por los años de 1930 a 1940.

A la fecha se han construido numerosas carpetas de pavimento conteniendo hule natural o sintético en muchos países.

Por otra parte, existen ciertas desventajas como el costo adicional del producto, costo extra de preparación de los materiales y mayores cuidados en el manejo y colocación de la mezcla, que muchas veces no definen con claridad la conveniencia de usar el producto.

Se ha visto que pequeñas cantidades de hule producen muy grandes cambios en las propiedades del asfalto; la viscosidad se aumenta mucho, se reduce la susceptibilidad a la temperatura, el punto de reblandecimiento del asfalto aumenta y la fragilidad a baja temperatura se reduce. Se aumenta la resistencia de la carpeta al impacto y el asfalto muestra notable recuperación elástica al ser deformado.

El asfalto ahulado se ha empleado en riegos de sello y carpetas de textura cerrada y abierta. En riegos de sello se han utilizado cantidades de 1.5% de hule en el asfalto. El hule se agrega al asfalto en forma de latex, a la mayor temperatura posible dispersandolo para producir un gel.

Las ventajas que se han logrado en mezclas de pavimentación con el uso de ligentos ahulados son: mayor resistencia al agrietamiento y a la expansión, mayor resistencia al flujo y a la

deformación mayor estabilidad, mejor adhesividad y más resistencia al desprendimiento.

En sí el asfalto ahulado es una mezcla de cemento asfáltico (Núm. 6) y hule recuperado de llantas, con algunos aditivos en donde el componente de hule es como mínimo el 15% del peso volumétrico de la mezcla, que ha reaccionado con el cemento asfáltico caliente lo suficiente para lograr una dilatación e integración de las partículas de hule.

A continuación se identifican algunos de los usos apropiados del asfalto ahulado.

- Sobre pavimentos con agrietamientos por fatiga
- Sobre pavimentos con agrietamiento por bloques o por oxidación
- Sobre pavimentos con agrietamientos lineales
- Para extender la vida de pavimentos muy trabajados que requieren reconstrucción y para los cuales no hay fondos disponibles.

Deberá notarse que los sellos de asfalto ahulado pueden mejorar el perfil de la superficie de rodamiento existente.

El hule reciclado granulado deberá ser producido principalmente a partir del procesado de llantas de automóviles y camionetas. Deberá ser producido únicamente por el proceso de molienda a temperatura ambiente.

El hule deberá estar lo suficientemente seco como para que pueda fluir libremente y que no produzca un problema de espuma al ser mezclado con el cemento asfáltico caliente. El agregado deberá estar compuesto de roca limpia y resistente a la abrasión triturada o grava triturada.

El material asfáltico deberá aplicarse únicamente cuando la superficie existente este seca y la temperatura atmosférica sea mayor de 10 °C. No se deberá aplicar el material cuando la lluvia sea inminente o cuando el viento es excesivo.

#### 4.3 ASFALTOS CON POLIMEROS

A continuación se analizan los diferentes parámetros que deben tomarse en cuenta al seleccionar un polímero para modificar un asfalto así como las diferentes aplicaciones a que son sometidos los polímeros.

##### 4.3.1 GENERALIDADES

Según estimaciones de la SCT, los requerimientos de vías de comunicación para el año 2000, son de casi 16 mil kilómetros de autopistas de altas especificaciones. El sector exportador indica que son necesarias más y mejores carreteras, ya que por esta vía se traslada más del 60% de las mercancías del país y con la puesta en vigor del TLC, se espera que este porcentaje aumente.

Por autopistas de altas especificaciones se debe entender aquellas que permiten un tránsito continuo y ágil a un costo razonable. En este sentido la necesidad de una mayor duración con bajos costos de mantenimiento adquiere particular importancia dentro del costo total de las carreteras.

Una alternativa empleada exitosamente desde hace cerca de tres décadas en Estados Unidos de Norteamérica, es la modificación de asfalto con polímeros. La idea inicial tras la cual se empezaron a hacer las primeras pruebas con estos materiales fue la de impartirle a las mezclas asfálticas propiedades que asemejara a el comportamiento de los hules.

Las mejoras que se han observado al modificar asfalto con polímeros incluye lo siguiente:

- Resistencia al rompimiento por fatiga
- Resistencia a la deformación permanente
- Menor sensibilidad a cambio de temperatura
- Mayor resistencia al rompimiento por temperatura
- Mejor resistencia al impacto
- Menor desprendimiento al agregado
- Mejor resistencia a la humedad
- Menor endurecimiento asociado al envejecimiento

Las propiedades anteriores abarcarían toda la gama de las mismas que pueden ser mejoradas al agregar polímeros, las mejoras específicas dependerán en buena medida también de las propiedades iniciales del asfalto empleado. Los polímeros empleados en los últimos años están forrados básicamente por 4 diferentes tipos de materiales. Todos ellos han mostrado ser adecuados para modificar asfalto aunque su principal mercado lo han constituido otras aplicaciones.

POLÍMEROS TRADICIONALES USADOS EN MODIFICACION DE ASFALTO

<u>POLÍMEROS</u>	<u>PRINCIPAL APLICACION</u>
neopreno	Industria de adhesivos, hulea- bandas y mangueras
hule estireno butadieno(abr)	adhesivos, hulea-llantas
estireno-butadieno estireno(abs)	industria de adhesivos, hulea
elvax (copolímero adhesivo plástico en etileno-acetato de gres. de vinilo	

Al parecer la forma en que el polímero interactúa con el asfalto es formando una red elástica dentro del mismo.

Esta estructura elástica es la que modifica las propiedades mecánicas y térmicas del asfalto. ver FIGURA 34.



FIGURA 34. Interacción asfalto-polímero.

#### 4.3.2 SELECCION DE POLIMERO

Para seleccionar cualquier polímero se recomienda siempre realizar pruebas a nivel laboratorio antes de hacerlo en campo, esto con el fin no sólo de ver qué polímero proporciona las mejores propiedades para el tipo de asfalto y agregado disponible, sino también para determinar el nivel de polímero óptimo a emplear.

En este punto es importante resaltar que para obtener los beneficios asociados a la modificación con polímeros, es necesario que la formulación asfalto-agregado-vacio este correctamente diseñada.

Un nivel de asfalto superior al óptimo no sólo hace más cara la mezcla final, sino que además provoca un pobre desempeño aún con la presencia de alto nivel de polímero.

En la TABLA 7, se presentan los principales parámetros a considerar en la selección del polímero a emplear.

Por supuesto la selección final deberá recaer en aquel material que cumpliendo con los estándares técnicos establecidos o buscados resulten con el menor costo total.

Aún cuando el costo desempeño de cada polímero varia dependiendo del tipo de asfalto disponible, el diseño de la mezcla y nivel de polímero, en la TABLA 7 se intenta presentar un resumen de las características promedio de los materiales tradicionalmente empleados en la modificación del asfalto.

TABLA 7. PARAMETROS PARA LA SELECCION DEL  
POLIMERO, PUNTOS A CONSIDERAR

EQUIPO	Equipo requerido para realizar la mezcla como es tipo y potencia del agitador
TIEMPO DE MEZCLADO	Tiempo requerido para lograr la completa integración del polímero
NIVEL	Cantidad de polímero requerido como porcentaje en peso de asfalto empleado
OTROS ADITIVOS	Requerimiento de solvente o aditivos adicionales
MANEJO	Facilidad de manejo de la mezcla asfalto-polímero
ESTABILIDAD	Posibilidad de la mezcla a ser almacenada por periodos largos.
PRESENTACION DEL ASFALTO	Posibilidad de integrarse al tipo de mezcla asfáltica disponible (cemento asfáltico, emulsión.)

TABLA DE COMPARACION ENTRE POLIMEROS TRADICIONALES

POLIMERO	DESEMPEÑO	MEZCLADO	PRESENTACION	CANTIDAD		PRECIO
					REQUERIDA	
SBR	Moderado-buena	1	latex	1-3%	Moderado	
ELVAX	Moderado-buena	1	Pelleta	2-5%	Moderado	
NEOPRENO	Buena-alto	1	latex	1-3%	Alto	
SBS	Buena-alto	2	Pelleta	3%	Moderado	

- 1.- Fácil mezclado
- 2.- Difícil mezclado

En conclusión la modificación del asfalto con polímeros representa una alternativa viable para construir carreteras de altas especificaciones.

En la selección del polímero a emplear es importante no solo comparar los precios de los polímeros en sí, sino comparar tanto las propiedades obtenidas como el costo total asociado a la adición de los mismos.

#### 4.4 INNOVACIONES EN EMULSIONES ASFALTICAS

Al utilizar un asfalto modificado en la construcción de carpetas asfálticas se mejora considerablemente sus características y al emplear este tipo de asfaltos en emulsiones asfálticas se ve a tener resultados satisfactorios.

##### 4.4.1 GENERALIDADES

La tecnología en ríto de pavimentos flexibles basadas en el empleo de las emulsiones, ha tenido una evolución creciente. El perfeccionamiento de emulsificantes y aditivos, así como el desarrollo de las técnicas de modificación de asfalto ha permitido disponer de una gran variedad de tipos de emulsiones asfálticas adecuadas para cada uso y con mejores características.

En la práctica, en la totalidad de las emulsiones asfálticas empleadas en carreteras el medio acuoso constituye la fase continua quedando la forma de glóbulos el ligante hidrocarbonado. El tamaño de los glóbulos depende básicamente de la cantidad y eficacia de la energía mecánica aplicada durante el proceso de fabricación, de la naturaleza del ligante y de la formulación empleada.

La emulsión asfáltica habitualmente empleada en carreteras puede ser de dos tipos: aniónica o catiónica según el signo de la carga de las partículas de asfalto, el signo de la carga viene condicionado fundamentalmente por el emulsionante empleado.

Las emulsiones aniónicas son las más antiguas. En principio presenta una buena adhesividad y resistencia al desplazamiento frente a los agregados calizos y una escasa adhesividad y resistencia al desplazamiento frente a los agregados silíceos. Debido a esta limitación por un lado y por otro lado al sistema de rotura que se produce fundamentalmente por evaporación, la aplicación de las emulsiones aniónicas está fuertemente condicionada por la naturaleza del agregado y las condiciones climatológicas fundamentalmente de humedad y temperatura.

Las emulsiones catiónicas desarrolladas inicialmente en Francia a finales de los años cincuenta presentan como característica fundamental que la rotura es mucho más rápida ya que la misma está condicionada por los fenómenos de atracción iónica entre la carga de las partículas de asfalto y la carga de las partículas de asfalto y la superficie del agregado ionizada.

Las emulsiones catiónicas presentan además una buena adhesividad en los agregados silíceos y con una buena parte de los agregados calizos.

En la actualidad más de un 85% de la producción total de emulsiones es del tipo catiónico, lo que denota la mayor versatilidad y eficiencia de ésta frente a las emulsiones aniónicas.

El planteamiento de nuevas necesidades, el desarrollo de nuevas técnicas de fabricación o puesta en obra y en definitiva la mejor optimización técnicas de las emulsiones asfálticas, ha permitido la aparición de nuevas tipos de emulsiones, entre las

que podemos ennumerar: emulsiones muy viscosas, de alta flotación, de rompimiento controlado por aditivos, emulsiones modificadas y emulsiones de asfaltos modificados.

#### 4.4.2 INNOVACIONES EN LOS LIGANTES ASFALTICOS

En general, los asfaltos utilizados en carreteras a bajas temperaturas se comportan como materiales bastante frágiles; por encima de esta temperatura y hasta unas 50-60 ° C el comportamiento es viscoelástico y a mayor temperatura su comportamiento es viscoso.

Su utilización en carpetas para carretera se debe fundamentalmente a su buenas propiedades adhesivas y mecánicas a su elevada inercia química y a su impermeabilidad al agua. Por otro lado, al ser materiales termoplásticos, por la acción del calor se reblandecen y se hacen suficientemente fluidos para mojar y envolver los agregados, y permitir la posterior compactación de la mezcla. Una vez frío el asfalto, aumenta considerablemente su viscosidad y proporciona a la mezcla asfáltica la cohesión y resistencia necesaria para resistir la acción del tránsito y de los agentes atmosféricos.

Generalmente las características de los agregados asfálticos son suficientes para fabricar mezclas capaces de resistir la acción conjunta del tránsito y de los agentes ambientales, pero en algunos casos en que las mezclas asfálticas están sometidas a fuertes sollicitaciones debidas al tránsito, orografía del trazo,

condiciones climáticas se deterioran rápidamente y aparecen disgregaciones, fisuras por fatiga etc. por lo que hay que recurrir al empleo de mezclas asfálticas especiales con mejores ejemplos en las deformaciones plásticas, se puede resolver los problemas utilizando agregados con mejor forma, con granulometría con mayor rozamiento interno, empleando asfalto más duros, reduciendo el contenido de asfalto etc. pero hay que tener en cuenta que generalmente ello va en detrimento de otras propiedades, como pueden ser la flexibilidad y la resistencia a la fatiga. En aquellos casos en que no sea posible corregir el proble cambiando los parámetros de formulación, hay que recurrir al empleo de ligantes modificados con mejor comportamiento en todo el intervalo de temperaturas de servicio y con una menor susceptibilidad a la temperatura.

En la actualidad existen numerosas o agentes modificadores que se incorporan a los asfaltos para modificar algunas sus propiedades, como los activantes que se emplean para mejorar la adhesividad del ligante frente a los agregados, los asfaltos naturales que disminuyen la susceptibilidad térmica y aumentan la cohesión del ligante las fibras naturales o sintéticas que interaccionan físicamente con el asfalto aumentando fundamentalmente la resistencia a la tracción y flexión, los materiales poliméricos que mejoran las propiedades mecánicas y reológicas.

Al adicionar polímeros a los asfaltos tiene como objetivo el de modificar la reología de los mismos, buscando una o varias de las siguientes condiciones:

- a) Disminuir la susceptibilidad térmica esto es disminuir la fragilidad en tiempo frío y aumentar la cohesión en tiempo cálido.
- b) Disminuir la susceptibilidad de los tiempos de aplicación de las cargas.
- c) Aumentar la resistencia a la deformación permanente y a la rotura en un campo más amplio de temperaturas, tensión y tiempo de carga.
- d) Mejorar la adhesividad de los agregados.

La incorporación de un polímero (sustancia macromolecular con propiedades viscoelásticas) a un asfalto dará lugar a interacciones entre las moléculas del primero y los componentes del segundo y producirá alteraciones en el sistema coloidal del asfalto con el consiguiente cambio de propiedades. Las interacciones y cambio de propiedades producidas, dependen de los siguientes factores:

- a) Composición y estructura molecular del polímero incorporado (masa molecular temperatura de transición vítrea, polaridad etc.)
- b) Composición química y estructural coloidal del asfalto.
- c) Proporción relativa de asfalto y polímero.
- d) Proceso de incorporación (modo de fabricación, temperatura, tiempo de mezclado etc.).

Dada la gran variedad de polímeros comerciales existentes, con composición química y propiedades diferentes, cabe pensar que las posibilidades de modificación de los ligantes asfálticos con polímeros son compatibles con los ligantes hidrocarbonados.

Los polímeros empleados de forma más generalizada para modificar los asfaltos son los elastómeros termoplásticos de butadieno-estireno telebloque(SBS) y los copolímeros de etileno acetato de vinilo (EVA).

Una vez elegido el polímero es necesario dispersarlo correctamente en el seno del asfalto para obtener un ligante modificado con buenas propiedades, lo que exige la elección de un procedimiento de mezclado, así como optimizar las condiciones operativas más idóneas, de forma que se obtenga un asfalto modificado, homogéneo y estable.

**CONCLUSIONES**

El presente trabajo describe el origen, procedencia y obtención de los diferentes productos asfálticos, así como su combinación con otro tipo de productos para mejorar su calidad y resistir a las diferentes condiciones adversas que se presenten.

Para poderse aplicar en diferentes funciones como en las obras de construcción y rehabilitación de carpetas flexibles de carreteras, calles y pistas de aeropuertos entre otras muchas aplicaciones.

Además se menciona con cierto detalle los componentes de los asfaltos, sus propiedades, las pruebas y normas de calidad a que tienen que sujetarse para su mejor aprovechamiento en los trabajos de pavimentación.

Se hace énfasis en las aplicaciones que se da a los cementos asfálticos, asfaltos rebajados y emulsiones, y en los criterios que han de seguirse para la selección adecuada de cada uno de ellos en las diferentes etapas constructivas de la obra. Así mismo en la necesidad de asegurar una carpeta de buena calidad es necesario contar con un agregado pétreo que satisfaga dichas necesidades.

Sin embargo estos agregados se aplican a los procedimientos o técnicas en caliente o en frío, por lo que es impensable usar mezclas asfálticas en caliente en obras pequeñas y alejadas de las plantas de fabricación y sería ilógico proyectar grandes volúmenes de mezcla en frío en zonas equipadas con plantas

asfálticas en caliente. Por ello, en la mayor parte de los casos, ambas técnicas son complementarias y deben ser las condiciones locales y económicas las que decidan la elección de uno de los dos procedimientos.

Finalmente, se hace ver las tendencias actuales en el uso de los materiales asfálticos, como consecuencia del encarecimiento que a nivel mundial han tenido estos productos a últimas fechas, atribuible a las limitaciones que se prevén en las reservas del petróleo. Estas tendencias van encaminadas al menor uso de los materiales asfálticos, al ahorro de los solventes ligeros del petróleo que se emplean en la fabricación de los repavados y a una mejor calidad de los trabajos de construcción en que se utilizan los referidos productos, a efecto de asegurar su mayor duración.

Debido a los importantes estudios de investigación que se realizan se están tomando medidas, no de sustituir a los materiales asfálticos si no de modificarlos para obtener mejores resultados aplicados en los trabajos de construcción y de conservación de obras viales.

Los materiales pétreos que se emplean en la construcción de pavimentos constituyen uno de los aspectos principales para que estas estructuras proporcionen con eficiencia el servicio y duración que se espera de ellas, dentro de las condiciones previstas en el proyecto.

Por lo tanto el éxito depende en buena parte de que los materiales pétreos utilizados se seleccionen y procesen siempre, en forma congruente con el uso a que se les destina, a fin de lograr en ellos, al menor costo posible, la calidad que se requiera en cada caso para resistir adecuadamente los efectos impuestos por el tránsito y el medio ambiente.

Referente a los bancos de materiales es necesario contar con un plano de la región por explorar, de preferencia que este plano sea topográfico y de ser posible fotointerpretado; en el caso de no poderse contar con estos datos se necesitará un plano en el que se tengan ubicados los ríos existentes, los accidentes topográficos importantes, las poblaciones con sus vías de acceso, la existencia de minas o canteras en explotación o que hayan sido explotadas, etc. Además, deberá recabarse con los habitantes de la región, información sobre la obtención de los materiales de construcción empleados en la zona para explorar y vaciarla en el plano, en el cual también se deberá señalar el desarrollo del camino por pavimentar o la ubicación de la obra que se trate.

Una vez que se cuente con el plano y con los datos anteriores se procederá a efectuar la exploración de la región

para lo cual, si no se está familiarizado con ella, es conveniente hacerse acompañar por una persona conocedora de la zona.

Durante los recorridos se corregirá y completará el plano si fuera necesario, señalando tiempos de recorridos, distancias, ubicación de ríca o arroyos no considerados, así como la localización de probables bancos, indicando su posible empleo, desviación aproximada al camino u obra por pavimentar, tipo de material y volumen aproximado disponible.

Los materiales básicos que deben considerarse para seleccionar los bancos, entre otros son los siguientes:

Calidad, Accesibilidad, Facilidad de explotación, Volumen disponible, Tratamiento y costos.

#### a) CALIDAD

La calidad de los materiales es uno de los requisitos más importantes que deberán tenerse en cuenta al seleccionar un banco de materiales pétreos para pavimentación, siendo necesario que de acuerdo con el destino que se les pretenda dar a estos materiales, sea la calidad que debieran cumplir con un cierto margen de seguridad, de acuerdo a las normas establecidas para el tipo de obra que se vaya a ejecutar, ya que si no es así y se seleccionan bancos cuya calidad está en el límite tolerable por las especificaciones, el riesgo que se corre es grave, debido a que durante la producción se pueden obtener materiales inaceptables para el fin propuesto.

**b) ACCESIBILIDAD.**

Este es otro de los factores importantes que hay que tomar en cuenta, ya que de no considerarlo se puede llegar a tener fracasos económicos de importancia si se fijan bancos inaccesibles o de muy difícil acceso.

**c) FACILIDAD DE EXPLOTACION.**

Las ventajas que presenta un banco en relación con otros, en lo que se refiere a facilidad de explotación, deberá tomarse en cuenta al fijarlo, ya que tiene influencia directa tanto en el aspecto económico, como en el cumplimiento de los programas de obra.

Por tal motivo, hasta donde sea posible, se evitará localizar bancos en zonas montañosas en las cuales no se tengan sitios apropiados para la instalación del equipo para su explotación, tratamiento, maniobras y almacenamientos de los materiales procesados, en sitios tan próximos a las obras por construir, que al efectuarse el staque del banco se ocasionen obstrucciones en ellas, con el material producto de la explotación, en las cercanías de las instalaciones que son costosas para mover.

**d) VOLUMEN DISPONIBLE.**

Este es otro de los factores que deberán tomarse en cuenta al localizar un banco, ya que en los casos en donde el material requiere para su utilización ciertos tratamientos por medio de máquinas o instalaciones costosas, el volumen por extraer debe justificar estos gastos a fin de que la explotación del banco resulte económica, en el caso de bancos de materiales con

volúmenes reducidos en los cuales se requieren tratamientos como los indicados, no es recomendable su explotación a menos que no se encuentren otros bancos en la región.

Las carreteras están sujetas a la acción de cargas diferentes en cuanto a magnitud y presión de contacto; las variables que intervienen en el diseño de un pavimento flexible son numerosas y tienen interacción, por lo cual un proyecto adecuado debe analizarse desde el punto de vista general. Entre las diferentes variables pueden mencionarse.

a) ESTRUCTURALES.

Incluye características relativas a cada uno de las capas que constituyen la carretera, como espesores, resistencia y deformabilidad en las condiciones esperadas de servicio.

b) DE CARGA.

Se refiere a los efectos producidos por el tránsito mezclado al circular por la carretera. En este caso son importantes los datos relacionados con el tránsito medio diario anual, tasa de crecimiento anual, cargas por eje sencillo o múltiple.

c) DE CLIMA Y CONDICIONES REGIONALES.

Las características reológicas de los materiales que constituyen la carretera dependen de la temperatura, régimen de precipitación, precipitación media anual, nivel freático, geología y topografía de la región.

El comportamiento del pavimento depende de la interacción entre las características, estructurales, sollicitaciones de tránsito, clima, condiciones regionales y tipo de conservación aplicada.

**d) CRITERIO DE DECISION.**

Incluye numerosos factores que van desde la disponibilidad de fondos, costos, confiabilidad y economía de la obra, seguridad y calidad de operación, hasta tipo de conservación deseable.

Uno de los principales objetivos dentro de la construcción de carpetas es la fijación de las normas de calidad y de las fuentes de aprovisionamiento de los materiales; referente a las normas de calidad deben de cumplir con las especificaciones generales y normas de construcción.

Al realizar estos objetivos debemos de cumplir ciertos estudios específicos como son exploración y muestreo a lo largo de la ruta así como:

- Ensayes de laboratorio
- Análisis de tránsito
- Clima y factores ambientales
- Recursos y potencialidad de los materiales

A demás se debe de tener

- Buen conocimiento de los diferentes factores que afecten el comportamiento de un pavimento.

En conclusión una vez que se tenga el material que cumple con todas las normas y especificaciones, podremos dimensionar el espesor de las diferentes capas de pavimentos, esto apoyandonos con los distintos métodos, por mencionar uno de los más utilizados es el caso del INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA UNAM.

Este método este basado en pruebas de laboratorio como es el Valor Relativo de Soporte (VRS). Sabiendo el VRS podremos entrar

e gráficas y apoyándonos en cuadros para el llenado de las diferentes formas como es el cálculo del Tránsito equivalente acumulado y sabiendo la tabla de conversión de vehículos a ejes equivalentes así como el manejo del nomograma podremos saber el espesor del pavimento.

## BIBLIOGRAFIA

- MEMORIAS XI REUNION DE VIAS TERRESTRES  
ASOCIACION MEXICANA DE INGENIERIA DE VIAS TERRESTRES A.C.  
MEXICO 1994
  
- VIAS DE COMUNICACION  
CARLOS CRESPO VILLALBA  
EDITORIAL LIMUSA
  
- EMULSIONES ASFALTICAS  
GUSTAVO E. RIVERA  
EDITORIAL REPRESENTACIONES Y SERVICIOS DE INGENIERIA, S.A
  
- DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS I Y II  
CURSO PALACIO DE MINERIA  
EDUCACION CONTINUA  
MEXICO, 1989
  
- LAS EMULSIONES ASFALTICAS CATIONICAS  
ARMANDO TERRAZAS N.  
SCT
  
- MATERIALES ASFALTICOS UTILIZADOS EN PAVIMENTACION  
DOMINGO SANCHES ROSADO  
SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS

- EMULSIONES ASFALTICAS PARA CAMINOS  
DOMINGO SANCHEZ ROSADO  
MANUEL BUSTAMANTE  
SCT
  
  - ESTRUCTURACION DE LOS PAVIMENTOS  
SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS  
MEXICO 1977
  
  - CRITERIOS DE APLICACION DE LOS ASFALTOS EN LOS TRABAJOS DE  
PAVIMENTACION  
RICARDO OLVERA B.  
SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS  
MEXICO, 1980
  
  - CARRETERAS, CALLES Y AEROPISTAS  
RAUL VALLE RODAS  
EDITORIAL ATENEO
-