



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ACATLÁN**

**MATERIALES PARA LA ELABORACIÓN  
DEL CONCRETO ASFÁLTICO**

**TESINA**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**PRESENTA:**

**CARLOS PÉREZ DÍAZ**

**ASESOR: ING. FRANCISCO ANZURES ROSAS**

**NOVIEMBRE 2007**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

## **AGRADECIMIENTOS:**

Gracias a Dios por darme la fuerza necesaria para salir adelante y terminar este trabajo de investigación.

Gracias papá y mamá: José Pérez Velasco y Rosario Díaz Velasco por su amor, cariño, apoyo, consejos y bendiciones.

Gracias a mis hermanos: Hermilo, José Ángel, José Raúl, Martín y Rey Daniel por su ayuda en momentos difíciles.

A toda mi familia mis tíos, primos, cuñadas y sobrinos por su motivación.

A la familia Cruz García por su cooperación y comprensión.

A la familia Cruz Fernández por su afecto y colaboración.

A mi novia Maria Eugenia en especial dedico este trabajo.

A mis compañeros de clase por compartir los mejores momentos.

A mis profesores por su buena enseñanza y compartir sus conocimientos.

Al profesor el ing. Liborio Julián Bravo Martínez por su orientación y consejos.

A mi asesor, por su esfuerzo y tiempo en guiarme, motivarme en ser un buen profesionista, gracias Ing. Francisco Anzures Rosas.

A los sinodales:

Ing. Francisco Anzures Rosas (Asesor)

Ing. Pablo miguel Pavía Ortíz

Ing. Carlos González Rogel

Ing. Francisco Mejía Meza

Ing. José Armando Torres Ruperto

Por sus valiosos comentarios y observaciones en la elaboración de este trabajo.

A los amigos:

Federico Amadeo, Francisco, Miguel Ángel, por la insistencia de terminación de este trabajo.

## **“MATERIALES PARA LA ELABORACIÓN DEL CONCRETO ASFÁLTICO”**

<b>ÍNDICE</b>	<b>PÁGINA</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO I. ASFALTOS MODIFICADOS</b> .....	3
I.1 Definición de asfalto modificado.....	3
I.2 Asfalto modificado con polímeros.....	3
I.2.1 Tipos de polímeros.....	3
I.3 Compatibilidad entre asfaltos y polímeros.....	7
I.4 Mecanismos de modificación.....	7
I.5 Cambios en el asfalto.....	10
I.6 Propiedades de un asfalto modificado.....	10
I.7 Ventajas en el uso del asfalto modificado.....	12
I.8 Cambios en el pavimento al usar asfalto modificado con polímero SBS.....	13
I.9 Usos.....	14
<b>CAPÍTULO II. EMULSIONES ASFÁLTICAS</b> .....	16
II.1 Definición de emulsión asfáltica.....	16
II.2 Elementos básicos para la producción de una emulsión asfáltica.....	16
II.3 Equipo principal y proceso para la producción de una emulsión asfáltica.....	17
II.4 Clasificación de las emulsiones en función del tiempo de rompimiento y curado.....	18
II.5 Algunos factores que afectan en tipo de rompimiento y curado de una emulsión.....	20
II.6 Selección de tipos y grados de las emulsiones para el uso que se les va a dar.....	21
II.7 Ventajas y recomendaciones.....	27

<b>CAPÍTULO III. AGREGADOS PÉTREOS</b> .....	29
III.1 Definición de agregados pétreos.....	29
III.2 Composición.....	29
III.3 Clasificación de los materiales pétreos.....	31
III.4 Especificaciones.....	32
III.5 Propiedades.....	39
III.6 Obtención.....	42
III.7 Bancos de materiales en la ciudad de México.....	44
III.8 Clasificación de agregados pétreos para concreto asfáltico.....	44
<b>CAPÍTULO IV. ASFALTOS PRODUCIDOS POR PEMEX REFINACIÓN</b> .....	47
IV.1 Producción de asfaltos en PEMEX refinación.....	47
IV.2 Calidad de los asfaltos.....	48
IV.3 Especificaciones.....	48
IV.4 Clasificación de los cementos asfálticos en México.....	51
IV.5 Expectativas de calidad.....	51
IV.6 Expectativas de producción.....	51
<b>CONCLUSIONES</b> .....	52
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	54

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad no podríamos concebir el mundo que vivimos sin la mezcla asfáltica, que pavimenta los caminos y nos permite la comunicación, y el intercambio de productos y servicios.

El concreto asfáltico, es el producto de la mezcla de materiales pétreos y del asfalto, con lo que se logra la conjunción de materiales producidos por la naturaleza a través de los siglos y procesados por el ingenio del ser humano.

Los materiales que componen un concreto asfáltico son un factor muy importante ya que de ellos depende que nuestras carreteras sean seguras y eficientes; existen varios tipos de materiales para la elaboración del concreto asfáltico, en este trabajo se destacan los siguientes: Asfaltos modificados con polímero para lo cual existen varios tipos de polímeros como son los plastómeros y los elastómeros, así como el empleo de materiales reciclados como el hule molido de llantas usadas, estos se usan únicamente de acuerdo a la cantidad y peso del tránsito y del clima en la zona donde se ubique la obra, y los agregados pétreos que deben ser sanos de buena calidad naturales o triturados; entre los polímeros de mayor aplicación esta el SBS, de tipo elastómero, y los asfaltos de mayor uso en México para modificar con estos polímeros son los tipos AC-5 y AC-20 que produce PEMEX refinación.

Los materiales como las emulsiones asfálticas son materiales obtenidos por la combinación de asfalto, agua y un emulsificante, que mezclado con agregado pétreo nos proporciona mezclas con buena resistencia para nuestras carreteras; las emulsiones asfálticas son de fácil aplicación y se pueden trabajar sobre superficies húmedas, con los agregados húmedos. Se conocen varios tipos de emulsiones como son: las aniónicas, catiónicas y no iónicas, estas últimas prácticamente no se emplean en trabajos de pavimentación; dentro de las aniónicas tenemos las de rompimiento rápido, medio, lento, impregnación o superestables; las de mayor uso son las catiónicas, tenemos las de rompimiento rápido, medio, lento, para impregnación y sobre estabilizadas, y cada una tiene diferentes usos.

Los agregados pétreos son materiales que se pueden obtener directamente de la naturaleza o mediante un tratamiento de trituración; deben cumplir ciertas propiedades como son su tamaño de partícula y granulometría, su dureza, forma de la partícula, textura superficial, capacidad de absorción y afinidad con el asfalto.

Los asfaltos producidos por PEMEX refinación son AC-5, AC-20 y AC-30 son materiales que se usan en el país, por ser buenos ligantes que logran un buen cubrimiento de los agregados pétreos, el AC-5 y AC20 se usan a nivel nacional en trabajos de pavimentación y el AC-30 se produce principalmente con fines de exportación.

El asfalto modificado con polímeros y el agregado pétreo forman el concreto asfáltico o sin modificar también conocido como mezcla en caliente; la emulsión asfáltica mezclado con agregado se conoce como mezcla asfáltica en frío, por no requerir calentar los materiales para su elaboración.

En este trabajo se hablará de los materiales empleados para la elaboración del concreto asfáltico, mencionando los asfaltos modificados, desde su definición, los asfaltos modificados con polímeros, tipos de polímeros, compatibilidad entre asfaltos y polímeros, mecanismo de modificación, cambios en el asfalto, propiedades de un asfalto modificado, ventajas y cambios en el pavimento al usar asfalto modificado con polímero SBS y usos. Posteriormente se mencionan las emulsiones asfálticas, con su definición, elementos básicos, equipo principal y proceso para la producción, su clasificación en función del tiempo de rompimiento y curado, algunos factores que afectan el tiempo de rompimiento y curado, tipos y grados para el uso que se les va a dar, ventajas y recomendaciones. Además se mencionan los agregados pétreos, su definición, composición, clasificación, especificaciones, propiedades, obtención, bancos de materiales en la ciudad de México y clasificación de agregados pétreos para concreto asfáltico. Finalmente se mencionan los asfaltos producidos actualmente por PEMEX refinación, así como la producción, calidad, especificaciones, clasificación, expectativas de calidad y producción.

## CAPÍTULO I. ASFALTOS MODIFICADOS

### I.1 Definición de asfalto modificado

Es aquel que mediante un proceso de mezclado a alta temperatura y esfuerzo cortante, se le incorporan polímeros para formar una “RED” tridimensional que atrapa dentro de sus espacios a las moléculas del asfalto.

Esta “RED” absorberá gran parte de los esfuerzos a los que se verá sometido el asfalto en un pavimento. En la siguiente figura 1 se aprecia una planta productora de asfalto modificado con polímeros, el asfalto utilizado es el AC-20, el polímero es el Elvaloy (SBRS) Estireno Butadieno Hule Estireno u otros, el mezclado se realiza en tanques de acero especiales en un tiempo de aproximadamente 4 horas a una temperatura de 200 ° C hasta que se incorpora totalmente; pasa por el molino donde se mezcla en su totalidad y se bombea hacia las pipas para las obras o plantas de mezcla asfáltica.



Figura 1 Planta de Emulsiones y Aditivos S.A. de C .V. donde producen asfalto modificado con polímero ubicado carretera Texcoco Lechería km. 33+200 Tequisistlan Estado México.

### I.2 Asfalto modificado con polímeros

La modificación de asfalto es una nueva técnica utilizada para el aprovechamiento efectivo de asfaltos en la pavimentación de vías. Esta técnica consiste en la adición de polímeros a los asfaltos convencionales con el fin de mejorar sus características mecánicas, es decir, su resistencia a las deformaciones por factores climatológicos y del tránsito.

Los objetivos que se persiguen con la modificación de los asfaltos con polímeros, es contar con ligantes más viscosos a temperaturas elevadas para reducir las deformaciones permanentes (ahuellamiento), de las mezclas que componen las capas de rodamiento, aumentando la rigidez. Por otro lado disminuir el fisuramiento por efecto térmico a bajas temperaturas y por fatiga, aumentando su elasticidad. Finalmente se trata de contar con un ligante de mejores características adhesivas.

#### I.2.1 Tipos de polímeros

a) Monómero. Compuestos químicos con moléculas simples de bajo peso molecular.



Que tienen una sola unidad estructural. (Ejemplo: estireno (S), butadieno (B), etileno (E), propileno (P)).

Ejemplos:

Estireno (S). Hidrocarburo bencénico,  $C_8H_8$ , que sirve de materia prima para numerosas materias plásticas.

Butadieno (B). Hidrocarburo dietilénico de fórmula  $C_4H_6$  utilizado para la fabricación del caucho sintético.

Etileno (E). Hidrocarburo gaseoso incoloro  $C_2H_4$ , ligeramente oloroso, obtenido a partir del petróleo.

Propileno (P). Hidrocarburo etilénico  $C_3H_6$ , homólogo superior del etileno. Igual a propeno. Miembro de la familia de los alquenos, parece razonable suponer que este compuesto también tiene un doble enlace carbono-carbono.

b) Polímero. Los polímeros son sustancias de alto peso molecular formados por la unión de cientos o miles de moléculas pequeñas llamadas monómeros.

Tienen varias unidades estructurales distintas. (Ejemplos: EVA, SBS).

Ejemplos:

Poliestireno. Material termoplástico obtenido por polimerización del estireno.

Polietileno. Materia plástica resultante de la polimerización del etileno.

Polibutadieno. Polímero de butadieno, utilizado en la fabricación del caucho sintético.

Polipropileno. Fibra sintética obtenida por polimerización del propileno.

Poliéster. Copolímero termoendurecible, resultante de la condensación de poliácidos con alcoholes no saturados o con glicoles, utilizado para fabricación de fibras artificiales y materiales textiles.

Algunos modificadores poliméricos que han dado buenos resultados.

Plastómeros. Poca elasticidad.

Dentro de estos tenemos:

- EVA (etileno-acetato de vinilo).
- EMA (etileno-acrilato de metilo).
- PE (polietileno) tiene buena resistencia a la tracción y buena resistencia térmica, como también buen comportamiento a bajas temperaturas.

- PP (polipropileno).
- Poliestireno. No son casi usados.

Elastómeros. Son elásticos.

Dentro de esto tenemos:

- **Natural** (caucho natural, celulosa, glucosa, sacarosa, ceras y arcillas son ejemplos de polímeros orgánicos e inorgánicos naturales).
- **SBS** (estireno-butadieno-estireno) o caucho termoplástico. Este es el más utilizado de los polímeros para la modificación de los asfaltos, ya que es el que mejor comportamiento tiene durante la vida útil de la mezcla asfáltica.
- **SBR** (cauchos sintéticos del 25% de estireno y 75% de butadieno; para mejorar su adhesividad con el agregado se le incorpora ácido acrílico).
- **EPDM** (polipropileno atáctico) es muy flexible y resistente al calor y a los agentes químicos.

Termoendurecibles. Estos tienen muchos enlaces transversales que impiden que puedan volver a ablandarse al calentarse nuevamente. Son ejemplos de estos las resinas epóxi; estas se usan en grandes porcentajes, mayores al 20%, son muy costosas y se utilizan para casos especiales (ejemplo: plataforma para estacionamiento de camiones), poliuretanos y poliésteres.

c) Ventajas en las mezclas en servicio.

Los asfaltos modificados se deben aplicar, en aquellos casos específicos en que las propiedades de los ligantes tradicionales son insuficientes para cumplir con éxito la función para el cual fueron requeridos, es decir, en mezclas para pavimentos que están sometidos a solicitudes excesivas, ya sea por el tránsito o por otras causas como: temperaturas extremas, agentes atmosféricos, tipología del terreno de cimentación, etc. Si bien los polímeros modifican las propiedades reológicas de los asfaltos, estos deben mostrar ventajas en servicio; los campos de aplicación más frecuentes son:

- **Mezclas drenantes.** Tienen un porcentaje muy elevado de huecos en mezcla (superior al 20%) y una proporción de agregado fino muy baja (inferior al 20%), por lo que el ligante debe tener una muy buena cohesión para evitar la disgregación de la mezcla. Además el ligante necesita una elevada viscosidad para proporcionar una película de ligante gruesa envolviendo los agregados y evitar los efectos perjudiciales del envejecimiento y de la acción del agua (dado a que este tipo de mezclas es muy abierta).
- **Mezclas resistentes y rugosas para capas delgadas.** La utilización de polímeros en este tipo de mezcla es para aumentar la durabilidad de las mezclas. Estos tipos de mezclas de pequeño espesor surgen dada a la rapidez de aplicación, lo que reduce al mínimo los tiempos de cortes de tránsito. Estas se utilizan para trabajos de conservación de carreteras y vías urbanas, que exigen mezclas con alta resistencia y con una buena textura superficial.

La resistencia de estas mezclas se consigue con agregados de buena calidad, elevado porcentaje de filler (8 a 10%) y un asfalto modificado con polímeros.

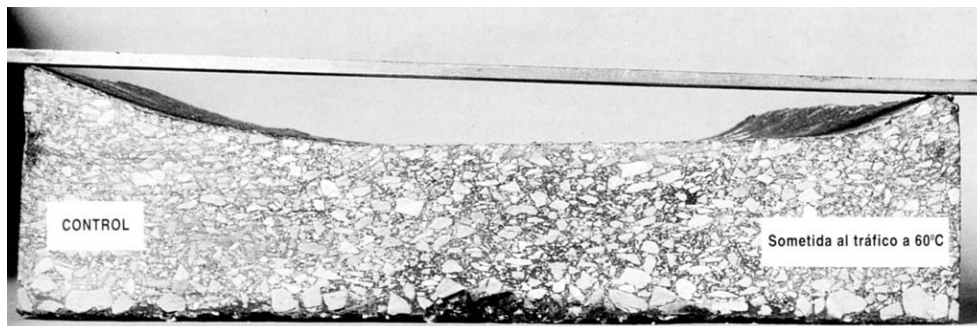
La buena textura superficial para mejorar la adherencia de los vehículos se consigue mediante una granulometría discontinua (discontinuidad 2-6mm).

En este tipo de mezclas es de vital importancia la adherencia con la capa subyacente (también influye en la durabilidad). Estas también deben ser resistentes, para soportar la acción del tránsito y el desprendimiento de los agregados.

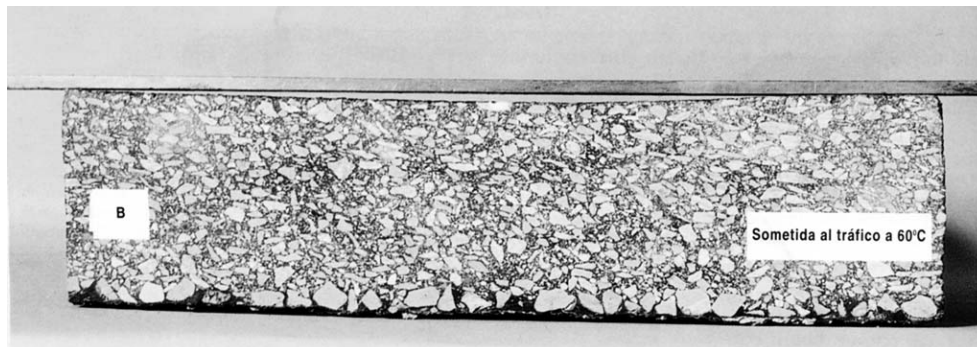
Estas mezclas son denominadas también microaglomerados y tienen espesores menores a los 30 mm.

- **Mezclas densas.** Se emplean para aplicaciones en las cuales se deba soportar tráfico intenso, la mezcla asfáltica debe ser resistente al ahuellamiento. Al mismo tiempo, el material debe poder ser mezclado, extendido y compactado a temperaturas normales y no se debe volver frágil cuando la temperatura del pavimento descienda.

En la siguiente figura 2 puede observarse que existe una gran diferencia entre los resultados obtenidos sobre una muestra de mezcla asfáltica convencional y otra con una mezcla asfáltica modificada con polímeros, la mezcla modificada puede hacer frente al ahuellamiento con una marcada diferencia sobre la otra muestra. Ambas muestras se observa que fueron sometidas al tránsito a 60 ° C.



Muestra de mezcla asfáltica convencional.



Muestra de mezcla asfáltica modificada con polímeros.

Figura 2 Muestras de mezcla asfáltica convencional y modificada con polímeros.

En otras aplicaciones, el objetivo puede ser producir una mezcla flexible con el fin de reducir la posibilidad de rotura por fatiga. En estos casos, se necesitarán asfaltos modificados con polímeros, preferentemente de naturaleza elástica, para que la mezcla sea capaz de absorber las tensiones sin que se produzca la rotura.

- **Tratamientos superficiales mediante riegos con gravilla.** Los asfaltos modificados con polímero y las emulsiones con ellos fabricadas, son adecuados para riegos en vías de fuerte intensidad de tráfico y/o en zonas climáticas de temperaturas extremas, porque el ligante debe tener una buena cohesión en un amplio intervalo de temperaturas y una buena susceptibilidad térmica, con el fin de evitar exudación del ligante durante el verano, así como la pérdida de gravilla en invierno.
- **Membrana absorbente de tensiones.** Estas membranas tienen como misión retardar la propagación de fisuras de un terreno de cimentación a un nuevo refuerzo, por lo que deben estar fabricadas con asfaltos modificados con polímeros para tener buena resistencia mecánica, resiliencia y flexibilidad para absorber las tensiones provocadas por el movimiento de las fisuras del terreno de cimentación.

### I.3 Compatibilidad entre asfaltos y polímeros

1) Los Asfaltos más ricos en fracciones Aromáticas y Resinas serán los más compatibles ya que estas fracciones son los que permiten disolverse al polímero. (Nota estos asfaltos se producen en la refinería de Salamanca y es el AC-5).

2) Los Asfaltos menos compatibles son aquellos que en su composición son más ricos en Asfaltenos y Saturados. Estas fracciones son de alto peso molecular. (Nota estos asfaltos se producen en la refinería de Madero y son el AC-20 y AC-30).

3) Los Asfaltos se pueden ajustar agregando aceites del Tipo Aromático, para enriquecerlo y hacerlo compatible con el polímero.

### I.4 Mecanismo de modificación

A continuación se muestra en las siguientes figuras como se realiza la combinación de los elementos modificadores como es el polímero SBS con el asfalto.

ESTRUCTURA RADIAL SBS (estireno butadieno estireno).

Polímeros de red espacial tienen muchos enlaces cruzados formando estructuras tridimensionales, aunque irregulares y rígidas como se muestra en la figura 3.

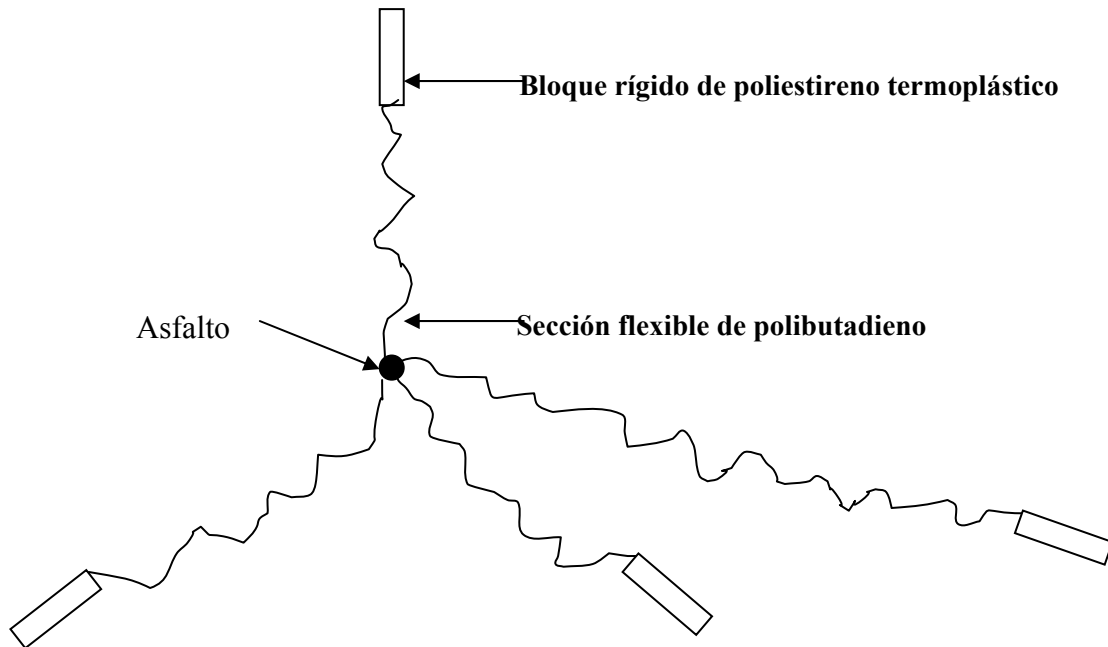


Figura 3 Estructura tridimensional SBS.

**Primera etapa.** El polímero está completamente encogido como se muestra en la figura 4.

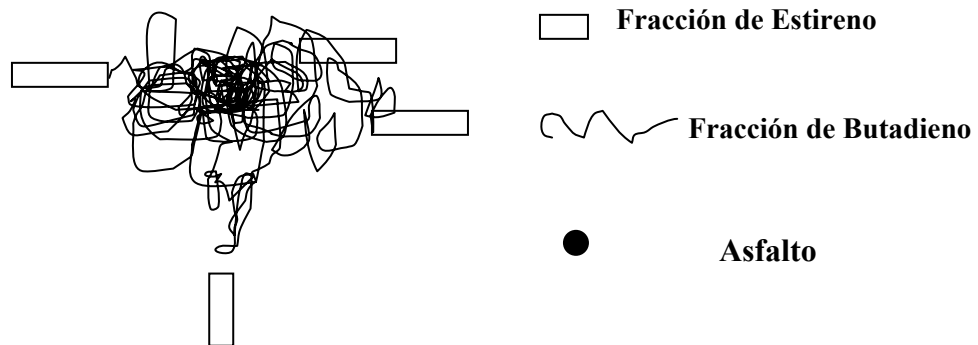


Figura 4 Polímero en completo estado de reposo.

**Segunda etapa.** El polímero comienza a desenredarse por absorción del aceite contenido en el asfalto como se muestra en la figura 5.

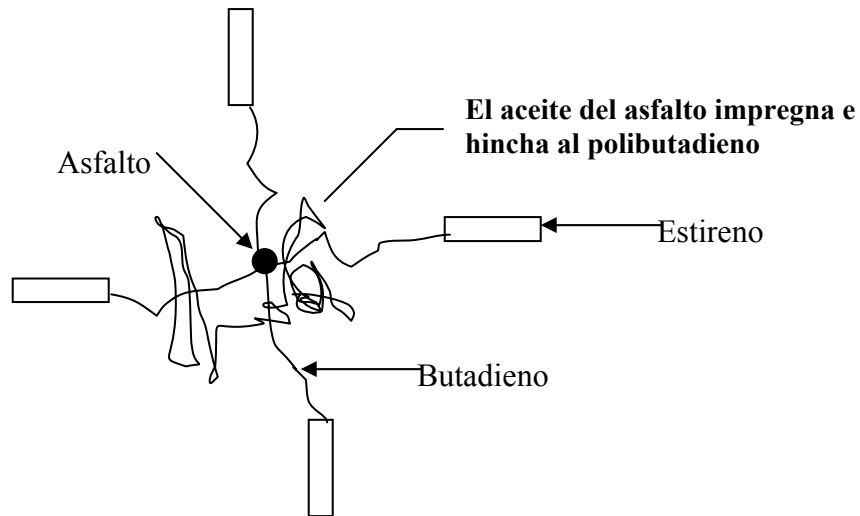


Figura 5 Muestra el polímero en disolución.

**Tercera etapa.** El polímero extendido en completo estado de disolución como se muestra en la figura 6.

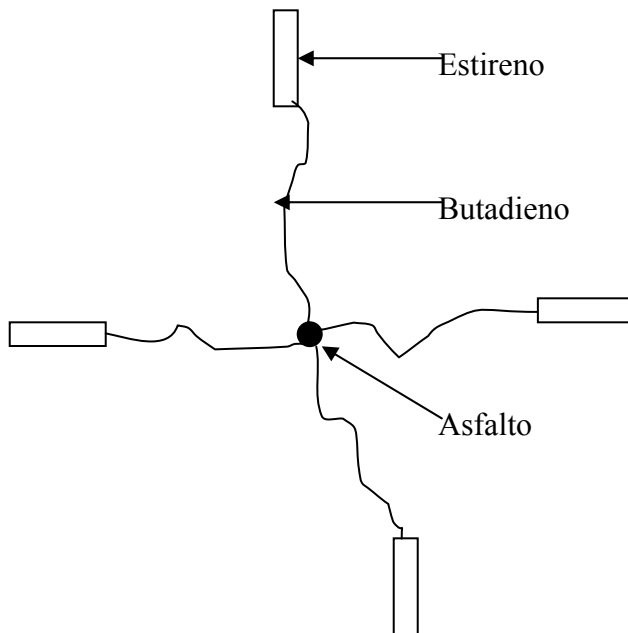


Figura 6 Polímero en disolución. Con baja movilidad dentro del asfalto por su geometría y por anclaje.

## **I.5 Cambios en el asfalto**

A continuación se indican los cambios inmediatos en algunas propiedades físicas.

- 1) Disminución de la penetración.
- 2) Aumento en el punto de ablandamiento.
- 3) Aumento en el intervalo de plasticidad.
- 4) Disminución de la fragilidad a baja temperatura.
- 5) Aumento de la viscosidad.
- 6) Disminución de la susceptibilidad térmica.
- 7) Mejora la adhesividad.
- 8) Incremento de la cohesividad.
- 9) Aumento de la carga de rotura mediante ensayos de tracción a diferentes temperaturas.
- 10) Aumento de durabilidad debido a la disminución de la oxidación.
- 11) Disminución de deterioro por permeabilidad.

## **I.6 Propiedades de un asfalto modificado**

Propiedades de un asfalto modificado con polímero.

### **a) TIPOS DE MODIFICADORES.**

Los principales modificadores utilizados en los materiales asfálticos son:

#### **1) Polímero tipo I:**

Mejora el comportamiento de mezclas asfálticas tanto a altas como a bajas temperaturas. Son polímeros elastómeros radiales a base de estireno, mediante configuraciones como estireno – butadieno – estireno (SBS) o estireno butadieno (SB) entre otras. Se usa en carpetas delgadas y estructurales de pavimentos con alto índice de tránsito, con vehículos pesados y climas fríos o calidos.

#### **2) Polímero tipo II:**

Mejora el comportamiento de mezclas asfálticas a bajas temperaturas. Son polímeros elastoméricos lineales, con una configuración de caucho de estireno, butadieno látex o neopreno látex se utiliza en todo tipo de mezclas asfálticas en las que se requiera mejorar su comportamiento en climas fríos.

#### **3) Polímero tipo III:**

Mejora la resistencia al ahuellamiento de las mezclas asfálticas, disminuye la susceptibilidad del cemento asfáltico a la temperatura y mejora su comportamiento a altas temperaturas. Es un polímero tipo plastómero, mediante configuraciones como etil - vinyl acetato (EVA) o polietileno de alta o baja densidad (HDPE, LDPE), entre otros. Se utiliza en climas calientes, en mezclas asfálticas para carpetas estructurales y alto índice de tránsito.

**4) Hule molido de neumáticos:**

Mejora la flexibilidad y resistencia de las mezclas asfálticas, reduciendo la aparición de grietas por fatiga o cambios de temperatura. Es fabricado con base a la molienda de neumáticos. Se utiliza en carpetas delgadas de granulometría abierta y tratamientos superficiales.

**b) CEMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO.**

Los cementos asfálticos clasificados como AC-5 y AC-20 según su viscosidad dinámica a 60 grados Celsius, una vez modificados cumplirán con los requisitos que se establecen en la tabla 1. En el caso del asfalto modificado con hule molido, dependiendo del equipo para calentar los componentes cumplirá con una de las granulometrías que se indican en la tabla 2.

TABLA 1 Requisitos de calidad para cementos asfálticos AC-5 y AC- 20 modificados.

Características	Tipos de cemento asfáltico (Tipo de modificador)				
	AC-5 (Tipo I ó II)	AC-20 (Tipo I)	AC-20 (Tipo II)	AC-20 (Tipo III)	AC-20 (Hule molido)
<b>Del cemento asfáltico modificado:</b>					
Viscosidad Saybolt-Furol a 135°C; s, máximo	500	1000	1000	1000	-
Viscosidad rotacional Brookfield a 135°C; Pa s, máximo	2	4	3	4	-
Viscosidad rotacional Brookfield (tipo Haake) a 177°C; Pa s, máximo	-	-	-	-	7
Penetración;					
• A 25°C, 100 g, 5 s; 10 <sup>-1</sup> mm, mínimo	80	40	40	30	30
• A 4°C, 200 g, 60 s; 10 <sup>-1</sup> mm, mínimo	40	25	25	20	15
Punto de inflamación Cleveland; °C, mínimo	220	230	230	230	230
Punto de reblandecimiento; °C, mínimo	45	55	55	53	57
Separación, diferencia anillo y esfera; °C, máximo	3	3	3	4	5
Recuperación elástica por torsión a 25°C; %, mínimo	25	35	30	15	40
Resiliencia, a 25°C; %, mínimo	20	20	20	25	30
<b>Del residuo de la prueba de la película delgada, (3.2 mm, 50 g):</b>					
Pérdida por calentamiento a 163°C; %, máximo	1	1	1	1	1
Penetración a 4°C, 200 g, 60 s; 10 <sup>-1</sup> mm, mínimo	-	-	-	-	10
Penetración retenida a 4°C, 200 g, 60 s, %, mínimo	65	65	65	55	75
Recuperación elástica en ductilómetro a 25°C; %, mínimo	50	60	60	30	55
Incremento en temperatura anillo y esfera; °C, máximo	-	-	-	-	10
Módulo reológico de corte dinámico a 76°C (G*/sen δ); kPa, mínimo	-	2.2	2.2	2.2	2.2
Módulo reológico de corte dinámico a 64°C (G*/sen δ); kPa, mínimo	2.2	-	-	-	-
Ángulo fase (δ) [visco-elasticidad], a 76°C; ° (grados), máximo	-	75	70	75	-
Ángulo fase (δ) [visco-elasticidad], a 64°C, ° (grados), máximo	75	-	-	-	-

FUENTE: NORMA SCT

N-CMT-4-05-002/06. Calidad de Materiales Asfálticos Modificados.



TABLA 2 Requisitos de granulometría para hule molido.

Malla		Tamaño nominal		
Abertura mm	Designación	H 20 % que pasa	H 40 % que pasa	H 80 % que pasa
2	No 10	100	-	-
1.18	No 16	75-100	-	-
0.85	No 20	59-90	100	-
0.6	No 30	25-60	75-100	100
0.425	No 40	10-40	55-90	80-100
0.3	No 50	0-20	25-60	60-100
0.15	No 100	0-10	0-30	4-70
0.075	No 200	0-5	0-10	0-20
Contenido mínimo de hule en El asfalto en masa ; %		17	15	12

FUENTE: NORMA SCT

N-CMT-4-05-002/06. Calidad de Materiales Asfálticos Modificados.

### **I.7 Ventajas en el uso del asfalto modificado**

A continuación se mencionan las ventajas en el uso del asfalto modificado.

- 1) Mejora la resistencia a la fatiga.
- 2) Mejora la resistencia a la deformación permanente.
- 3) Excelente desempeño a altas temperaturas no se reblandece y a bajas temperaturas no se fractura.
- 4) Reduce la formación de roderas.
- 5) Reducen los costos de mantenimiento.
- 6) Disminuye la susceptibilidad térmica.  
Se obtienen mezclas más rígidas a altas temperaturas de servicio reduciendo el ahuellamiento.  
Se obtienen mezclas más flexibles a bajas temperaturas de servicio reduciendo el fisuramiento.
- 7) Disminuye la exudación del asfalto. Por la mayor viscosidad de la mezcla, su menor tendencia a fluir y su mayor elasticidad.
- 8) Mayor elasticidad. Debido a los polímeros de cadenas largas.
- 9) Mayor adherencia. Debido a los polímeros de cadenas cortas.
- 10) Mayor cohesión. El polímero refuerza la cohesión de la mezcla.
- 11) Mejora la trabajabilidad y la compactación. Por la acción lubricante del polímero o de los aditivos incorporados para el mezclado.
- 12) Mejor impermeabilización. En los sellos asfálticos, pues absorbe mejor los esfuerzos tangenciales, evitando la propagación de las fisuras.
- 13) Mayor resistencia al envejecimiento. Mantiene las propiedades del ligante, pues los sitios más activos del asfalto son ocupados por el polímero.
- 14) Mayor durabilidad. Los ensayos de envejecimiento acelerado en laboratorio, demuestran su excelente resistencia al cambio de sus propiedades características.
- 15) Mejora la vida útil de las mezclas. Menos trabajos de conservación.
- 16) Fácilmente disponible en el mercado.
- 17) Permiten mayor espesor de la película de asfalto sobre el agregado.
- 18) Mayor resistencia al derrame de combustibles.

- 19) Disminuye el nivel de ruidos. Sobre todo en mezclas de textura abierta.
- 20) Aumenta el módulo de la mezcla.
- 21) Permite la reducción de hasta el 20% de los espesores por su mayor módulo.
- 22) Mayor resistencia a la flexión en la cara inferior de las capas de mezclas asfálticas.
- 23) Permite un mejor sellado de las fisuras.
- 24) Buenas condiciones de almacenamiento a temperaturas moderadas.
- 25) No requieren equipos especiales.

### **I.8 Cambios en el pavimento al usar asfalto modificado con polímero SBS**

a) Al utilizar el asfalto modificado en un pavimento, se logra los siguientes resultados:

Mejora la resistencia a la DEFORMACIÓN PERMANENTE ocasionada por altas temperaturas y cargas altas o lentas como se muestra en la figura 7.

Situaciones que generalmente se presentan en:

- Clima caliente.
- Zonas de tránsito pesado.
- Zonas de estacionamiento.

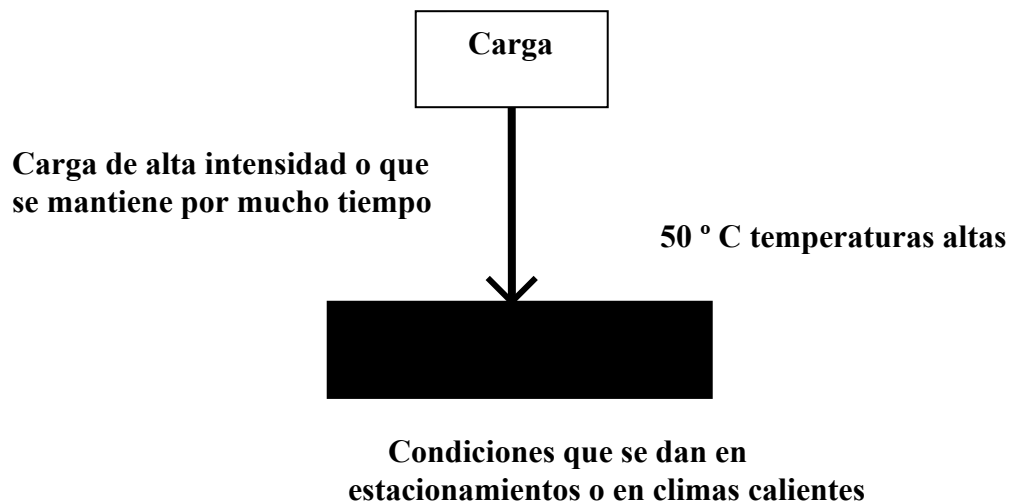


Figura 7 Mejora la resistencia a la deformación permanente.

b) Otro resultado obtenido es:

Mejora la resistencia a la FRACTURA PERMANENTE ocasionadas por fuerzas derivadas de bajas temperaturas o cargas aplicadas rápidamente (frecuencias altas) como se muestra en la figura 8.

Carga = Compresión.  
Descarga = Retorno a la posición original.

Cuando el asfalto no tiene la flexibilidad suficiente para regresar a su posición original, el fenómeno anterior ocasiona fracturas permanentes.

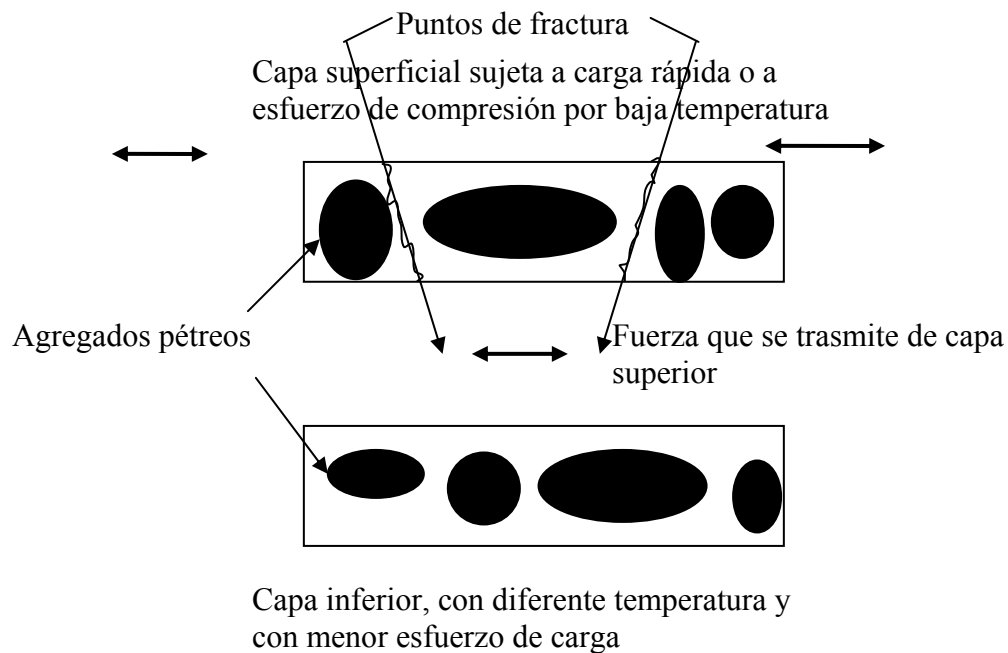


Figura 8 Mejora la resistencia a la fractura permanente.

## I.9 Usos

Se utilizan para pavimentos en:

- Autopistas. En la siguiente figura 9 se aprecia la colocación de mezcla asfáltica en caliente elaborado con cemento asfáltico AC-20 modificado con polímero Elvaloy (SBRs) Estireno Butadieno Hule Estireno y agregados pétreos elaborada en planta la mezcla es colocada con maquina finisher con trabajadores paleros y rastrilleros a una temperatura de 150 ° C y compactada a una temperatura de 135 ° C con compactador

rodillo liso a una temperatura más baja de 60 a 80 ° C para evitar el desprendimiento es compactado finalmente con compactador de neumáticos para darle forma a la carpeta.



Figura 9 Colocación de mezcla asfáltica en caliente elaborada en planta con cemento asfáltico AC-20 modificada con polímero y agregados pétreos en un tramo de obra del km. 19+240 al 19+720 de la autopista México- Puebla.

- Carreteras.
- Caminos y calles.
- Estacionamientos.
- Pisos industriales.
- Andadores.
- Terraplenes.
- Bordes de caminos.
- Mezcla con agregados.
- Reciclados en frío.

Conviene utilizar asfaltos modificados con polímero cuando:

- El tiempo de recuperación de la inversión es importante.
- Se requiere de altas especificaciones y alto desempeño.
- Se requiere reducir el costo de mantenimiento.
- Existen temperaturas extremas y/o tráfico intenso.

¿Porque conviene utilizar asfaltos modificados con polímero?:

- Economía.
- Seguridad.
- Desempeño.

## CAPÍTULO II. EMULSIONES ASFÁLTICAS

### II.1 Definición de emulsión asfáltica

Dentro de las emulsiones existe una primera clasificación como son:

Emulsiones directas o sea de aceite en agua, es el caso de las emulsiones asfálticas, donde la fase oleosa es el asfalto (fase discontinua). La más conocida de estas emulsiones directas es la leche.

Emulsiones inversas o sea de agua en aceite, que no se emplean en la industria de la construcción. Aquí la fase oleosa es la fase continua. La más popular de estas emulsiones es la mayonesa.

**Emulsión asfáltica.** Es una fina dispersión de asfalto en agua. Se trata de una emulsión directa en donde la fase continua es el agua y la discontinua es el asfalto. Para lograr estabilizar la emulsión se requiere de un emulsificante.

**Emulsificante.** Es un agente tensoactivo que modifica la tensión superficial en la interfase entre las partículas de asfalto y el agua, por lo que mantiene los glóbulos de asfalto estables en suspensión y controla el tiempo de rompimiento.

### II.2 Elementos básicos para la producción de una emulsión asfáltica

Los elementos básicos son: Asfalto, Agua y un agente Emulsificante. En algunos casos la emulsión puede llevar otros aditivos, como estabilizadores, mejoradores de cubrimiento, promotores de adherencia o aditivos para el control del rompimiento.

a) El cemento asfáltico es el componente básico de una emulsión asfáltica, ya que constituye del 50 al 70 % de una emulsión. Algunas de las propiedades del cemento asfáltico afectan significativamente a la emulsión, la química del asfalto es una materia muy compleja y no es necesario revisar toda ella. No existe una correlación exacta entre las propiedades y la facilidad de emulsificar un cemento asfáltico. La mayoría de las emulsiones son producidas con asfaltos de una penetración 60-200, aunque en ocasiones las condiciones climáticas donde se va a utilizar pueden requerir un asfalto mas blando o mas duro, pero la compatibilidad química del agente emulsificante con el asfalto por emplear es esencial para la producción de una emulsión estable.

Las variaciones en las características químicas y físicas del asfalto son inherentes a las fuentes de crudo y los procesos de refinación, por lo que es de suma importancia tener un control de calidad en las plantas productoras de emulsión y verificar constantemente, la penetración, así como todos los parámetros que debe cumplir la emulsión terminada, por ejemplo no se debe de emulsificar a la misma temperatura un asfalto de penetración 50, que otro de penetración 150 por citar un ejemplo, la falta de este tipo de control de calidad necesariamente producirá emulsiones no solo que no cumplan con las normas sino que al utilizarlas se tengan fracasos de mucha importancia.

b) El agua y su contribución a las propiedades deseadas del producto terminado no deben ser minimizadas. El agua puede contener minerales u otras materias que afectan a la estabilidad de una emulsión. Hay ocasiones en que el agua es considerada aceptable para consumo humano, pero no lo es para fabricar emulsiones.

El agua puede contener impurezas tanto en solución como en suspensión coloidal. La presencia de iones de calcio o de magnesio es de suma importancia. Estos iones benefician en la estabilidad de una emulsión catiónica, pero pueden ser muy dañinos para una aniónica. De la misma manera aniones de carbonato y bicarbonato ayudan a estabilizar una emulsión aniónica pero desestabilizan una catiónica.

El uso de agua impura puede dar como resultado un desbalanceo de los componentes de una emulsión que afectan su comportamiento o causan un rompimiento prematuro.

c) El tercer elemento son los agentes emulsificantes de los que dependen las propiedades de la emulsión. El emulsificante mantiene los pequeños glóbulos de asfalto en una suspensión estable y controla el tiempo de rompimiento. Es también el que nos determina la clasificación de la emulsión, como aniónica, catiónica o no iónica.

Los emulsificantes, son sustancias tensoactivas, solubles en el agua y cuya presencia en solución marcadamente cambian las propiedades del solvente y de las superficies que contactan.

Los emulsificantes aniónicos más comunes, son ácidos grasos derivados de la madera, que se saponifican es decir se convierten en jabones al reaccionar con el hidróxido de sodio o de potasio.

Los emulsificantes aniónicos, tienen carga eléctrica negativa y fórmula general:  $R-COONa$ .

Y los catiónicos son aminas grasas que se convierte en jabón al reaccionar con un ácido.

Los emulsificantes catiónicos, tienen carga eléctrica positiva y fórmula general:  $R-NH_3Cl$ .

### **II.3 Equipo principal y proceso para la producción de una emulsión asfáltica**

#### **FABRICACIÓN DE EMULSIONES EN PLANTA:**

##### **a) Equipo principal.**

Una planta de emulsión se compone de tres áreas básicas:

1) Molino coloidal con alto efecto cortante, que divide o tritura el asfalto en pequeños glóbulos.

El molino coloidal tiene un rotor que gira de 3,000 a 6,000 rpm y una abertura con la parte fija de 2 a 4 mm, lo cual produce glóbulos de asfalto de 1 a 10 milésimas de milímetro de diámetro.

2) Tanque de solución jabonosa. Se utiliza para mezclar el emulsificante y el agua para obtener una solución diluida del emulsificante.

3) Tanques de almacenamiento. Se requieren tanques para almacenar el asfalto, el emulsificante y la emulsión final. Para la emulsión final se recomiendan tanques para los diferentes tipos de emulsión. En la siguiente figura 10 se muestra una planta productora de emulsiones asfálticas catiónicas, el rompimiento depende de las solicitudes de los clientes.



Figura 10 Planta productora de emulsiones y aditivos ubicada en carretera Texcoco Lechería km. 33+200 Tequisistlan Estado de México.

### b) Proceso para la producción.

El asfalto es calentado para que tenga una baja viscosidad, mínimo a  $130^{\circ}\text{C}$ , siendo alimentado al molino por medio de una bomba de desplazamiento positivo, y al mismo tiempo es suministrada al molino la solución jabonosa, es decir el agua con el emulsificante ya saponificado, la cual también tiene una temperatura entre  $30$  y  $50^{\circ}\text{C}$ , esto con el fin de optimizar la emulsificación.

Tanto el asfalto como la solución jabonosa deben entrar en la proporción adecuada al molino de acuerdo al contenido de asfalto de la emulsión que se este fabricando, lo cual se logra mediante medidores de flujo o por medio de temperaturas de cada una de las fases.

Del molino sale la emulsión a los tanques de almacenamiento a una temperatura de  $80$  a  $90^{\circ}\text{C}$ , dependiendo de la temperatura del asfalto y del contenido del mismo en la emulsión, debiendo tener cuidado que la emulsión no se obtenga a una temperatura cercana al punto de ebullición del agua. Ver figura 10.

## II.4 Clasificación de las emulsiones en función del tiempo de rompimiento y curado

a) Clasificación de las emulsiones directas en tres categorías.

- **Aniónicas.** Con carga superficial negativa. Ver figura 11.

- **Catiónicas.** Con carga superficial positiva. Ver figura 11.
- **No iónicas.** Sin carga superficial.

En la práctica las dos primeras son las que se han utilizado para trabajos de pavimentación. La clasificación proviene de una de las leyes básicas de la electricidad, que dice: cargas del mismo signo se repelen una a otra, y de signo contrario se atraen.

El ánodo es el electrodo cargado positivamente, y una emulsión con glóbulos con carga superficial negativa, van a ser atraídos por el electrodo positivo que es el ánodo, de ahí el nombre de “aniónicas”, e inversamente si la emulsión es de glóbulos superficialmente cargados positivamente van a emigrar al cátodo, que es el elemento de signo negativo, y de ahí el nombre de “catiónicas” en el caso de las no iónicas las partículas no migra a ningún polo ya que son neutras.

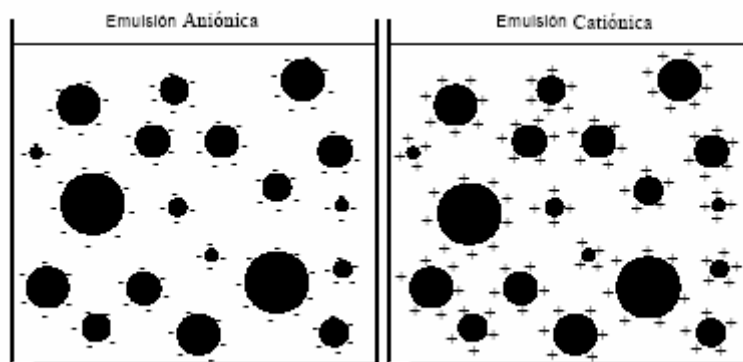


Figura 11 Representación esquemática de una emulsión aniónica y catiónica.

b) Tiempo de rompimiento.

Si la última función de una emulsión asfáltica es de servir como ligante, el agua debe separarse del asfalto y evaporarse. Esta separación se llama “ruptura”. Para tratamientos superficiales y sellos, las emulsiones son formuladas para que rompan químicamente al contacto con una sustancia extraña como el agregado o la superficie de un pavimento en un tiempo muy breve de, 1 a 5 minutos, por lo que el depósito inicial de los glóbulos de asfalto en el agregado, es por un fenómeno electroquímico.

Para otras aplicaciones como son las mezclas densas, se requiere más tiempo para el rompimiento, con objeto permitir el mezclado y cubrimiento de los agregados, por lo que estas emulsiones se formulan para un rompimiento más lento.

El tipo de emulsificante y la concentración del mismo controlan primordialmente el tiempo de rompimiento.

En la figura 12 podemos observar el proceso de ruptura de una emulsión en tres pasos: Primero se observa la emulsión, enseguida cuando se inicia el rompimiento y después cuando se produce la ruptura completa y queda el material pétreo cubierto por el asfalto.



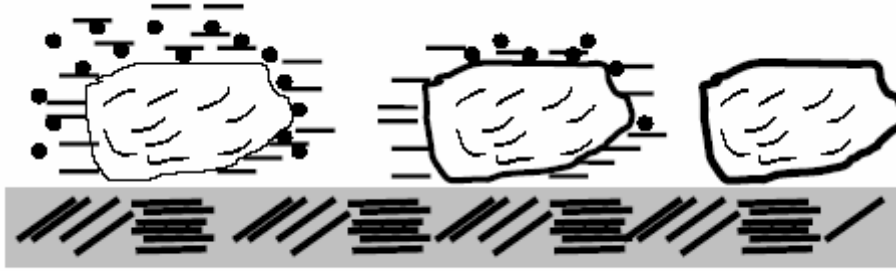


Figura 12 Ruptura de una emulsión sobre un material pétreo.

c) Curado.

El agua cuando se separa del asfalto debe evaporarse, a esta fase se le llama “curado”, y esto incluye el desarrollo de las propiedades mecánicas del cemento asfáltico, cuyo resultado final es la formación de una película cohesiva y continua que mantenga a los agregados en su lugar mediante una fuerte adhesividad. Para que esto suceda, el agua debe de evaporarse totalmente y exista la coalescencia de los glóbulos de asfalto, esto es que vuelvan a unirse en una forma irreversible. En una mezcla asfáltica la pérdida de agua es por evaporización la cual puede ser ayudada por el planchado de la mezcla y también por absorción de la misma por el agregado. El empleo de emulsiones de rompimiento medio y lento en mezclas asfálticas para pavimentos, es recomendable tener los agregados ligeramente húmedos, ya que esto facilita el mezclado y el cubrimiento.

### II.5 Algunos factores que afectan el tiempo de rompimiento y curado de una emulsión

**Absorción de agua.** Un agregado rugoso y poroso aumenta la velocidad de rompimiento por que este absorbe agua de la emulsión.

**Contenido de humedad en el agregado.** Aunque esto facilita el mezclado y el cubrimiento, retarda el curado ya que se necesita más tiempo para la evaporación.

**Condiciones climáticas.** Temperatura, humedad y velocidad del viento ayudan a la evaporación del agua y por lo tanto al curado.

**Fuerzas mecánicas.** La compactación impulsa el agua fuera de la mezcla, ayudando a la cohesión al curado y a la estabilidad.

**Superficie específica.** Un agregado con exceso de finos acelera el rompimiento de la emulsión.

**Química de la superficie.** La intensidad de la carga eléctrica superficial del agregado, impacta considerablemente el tiempo de ruptura.

**Temperatura del agregado y de la emulsión.** El tiempo de ruptura es retardada cuando la temperatura de ambos es baja.

Estos factores deben de tomarse en cuenta para determinar el tiempo de apertura al tránsito después de la aplicación de una emulsión.

## **II.6 Selección de tipos y grados de las emulsiones para el uso que se les va a dar**

### **a) Tipos.**

Emulsión aniónica. Este tipo de emulsiones que fueron las primeras en emplearse en trabajos de pavimentación pero son poco usuales en México ya que con excepción del sureste de la república y específicamente la zona de la península de Yucatán en que por tratarse de materiales calizos, con carga eléctrica positiva presentan buena adherencia. No es recomendable su uso, con materiales como basaltos, riolitas etc., que son de carga negativa pues el rompimiento se produce por evaporación de la fase acuosa y no existe ningún proceso electroquímico que ayude a dicho rompimiento, es decir, que revierta la emulsión y el cemento asfáltico se adhiera al material pétreo.

Emulsión catiónica. Es la de más amplio uso, la mayor parte de los agregados empleados tienen carga negativa que promueve su rompimiento.

Presentan buena adherencia con los agregados silicios y gran parte de los calizos, pues al humedecerlos cambia la carga superficial del agregado.

### **Usos de las Emulsiones Catiónicas.**

- 1) Juntas para pavimentos hidráulicos.
- 2) Adhesivos.
- 3) Selladores.
- 4) Impermeabilizantes.
- 5) Tratamientos superficiales, para pavimentos asfálticos, en carreteras y aeropistas:

- Riegos de impregnación. Es la aplicación de un ligante asfáltico sobre una superficie no asfáltica, con el objeto de prepararla para recibir cualquier otro tratamiento asfáltico. Su objetivo es establecer una continuidad entre la superficie existente no tratada y posterior tratamiento asfáltico que se superpone sobre la citada superficie, de forma que el ligante asfáltico penetre ligeramente por gravedad, impregne la superficie ennegreciéndola y la dote de una impermeabilidad uniforme, sin polvo, ni partículas minerales sueltas, haciendo posible la extensión de los tratamientos asfálticos superiores en condiciones adecuadas. La consecución de estos objetivos a veces no resulta fácil de lograr cuando se trata de impregnar materiales granulares con alto contenido en finos, especialmente si estos son arcillosos. El ligante teniendo en cuenta lo anterior, la emulsión a emplear deberá tener las propiedades de fluidez es decir escasa viscosidad para que sea fácilmente aplicable en una manera uniforme y penetre por gravedad impregnando la superficie, de rotura lenta para favorecer el proceso de penetración, ya que si fuese de rotura rápida el ligante quedaría en superficie, sin penetrar, para que el ligante se adhiriese a los neumáticos y se levantase, estas características deberán acoplarse al tipo de base a tratar, pudiendo impregnar las bases más permeables con mayor facilidad que las impermeables, los tipos de emulsiones que se recomiendan son los del tipo

ECL-65, que cumpla con las especificaciones indicadas en la tabla 5, dosificación la cantidad de ligante a emplear suele fijarse, como aquella capaz de ser absorbida por la base a impregnar durante un periodo de 24 horas, para llegar a definir la cantidad, será necesario proceder a realizar una prehumectación de la superficie de la base horas antes de la extensión del ligante para favorecer la penetración, realizada esta operación, es frecuente hacer varias pruebas en zonas representativas con diferentes cantidades de ligante asfáltico residual, e igualmente distintas diluciones para comprobar la absorción y cobertura superficial del ligante, en la práctica, las cantidades normales empleadas oscilan alrededor de  $1 \text{ kg/m}^2$  de emulsión diluida hasta una concentración de asfalto residual de 30-40 %, lo que indica una cantidad de 300-400  $\text{gr/m}^2$  de ligante asfáltico residual, cualquier caso, la cantidad de emulsión a emplear debe ser la mínima compatible con el cumplimiento de la premisa de total absorción del ligante. En la siguiente figura 13 se muestra en una obra la colocación de riego de impregnación de rompimiento lento.



Figura 13 Aplicación del riego de impregnación de rompimiento lento en tramo de obra de la autopista México – Puebla km. 19+420 al km. 19+720.

- Riegos de liga. Es la aplicación de un ligante asfáltico sobre una capa asfáltica, previamente a la extensión sobre ésta, de otra capa asfáltica.

Su objetivo es lograr una unión lo más perfecta posible entre ambas capas para evitar que trabajen en forma independiente, circunstancia que se manifiesta generalmente, por corrimientos de la capa superior sobre la inferior debido a tres causas que pueden actuar conjuntamente o separadamente:

Esfuerzos tangenciales de aceleración y frenado, pequeño espesor de la capa superior, y presencia de pendientes importantes ya sea en servicio longitudinal o transversal.

La película del ligante debe ser lo más delgada posible, y en cuanto a la necesidad de su ejecución, depende en gran parte de la textura, estado, y condiciones superficiales de la capa asfáltica sobre la que se ha de realizar el tratamiento, pues la misión de la misma, se repite, es únicamente lograr la unión de ella con la siguiente capa a realizar, ligante por lo hasta aquí expuesto, los ligantes adecuados deben ser fluidos poco viscosos con el objeto de poder

obtener un reparto uniforme sobre la superficie, teniendo en cuenta la escasa cantidad que normalmente se emplea, de baja concentración en ligante igualmente para favorecer la distribución uniforme, sin fluidificantes o pequeñas cantidades para que su presencia no pueda originar un reblandecimiento o contaminación del ligante de las capas asfálticas en contacto con este riego, de rotura rápida para permitir la puesta en obra lo más pronto posible de la capa que se superponga, en consecuencia, las emulsiones más adecuadas para este tipo de tratamiento y por tanto recomendables, son las ECR-60, ó ECR-65, que cumpla con las especificaciones indicadas en la tabla 5, dosificación las cantidades a emplear debe ser comprobadas en obra, puesto que, por parte, el riego no siempre es necesario, como en el caso de una superficie limpia, rica en ligante y reciente, y por otra, la cantidad depende en gran medida del estado de la superficie a tratar y las condiciones climatológicas del momento, a título orientativo, puede indicarse una cantidad normal 200- 300 gr/m<sup>2</sup> de ligante residual. En la siguiente figura 14 se muestra en una obra la colocación del riego de liga de rompimiento rápido.



Figura 14 Aplicación del riego de liga de rompimiento rápido en tramo de obra de la autopista México – Puebla km. 19+420 al km. 19+720.

- Riegos de sello con arena o gravilla seleccionada.
- 6) Morteros asfálticos o slurry seal (sólo con emulsiones asfálticas).
- 7) Bacheo.
- 8) Mezcla asfáltica para carreteras y aeropistas.
- 9) Mezcla de texturas cerrada y abierta.
- 10) Grava - emulsión y arena – emulsión.

### **b) Grados de las emulsiones.**

Las emulsiones asfálticas pueden ser de los siguientes tipos:

- De rompimiento rápido, que generalmente se utilizan para riegos de liga y carpetas por el sistema de riegos, a excepción de la emulsión ECR-60, que no se debe utilizar en la elaboración de estas últimas.

- De rompimiento medio, que normalmente se emplean para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta, especialmente cuando el contenido de finos en la mezcla es menor o igual a 2 %, así como en trabajos de conservación tales como bacheos, renivelaciones y sobrecarpetas.
- De rompimiento lento, que comúnmente se utilizan para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta y para estabilizaciones asfálticas.
- Para impregnación, que particularmente se utilizan para proporcionar una transición entre un material hidráulico y otro asfáltico, como subbases con bases asfálticas o bases hidráulicas con carpetas asfálticas.
- Superestables, que principalmente se emplean en la estabilización de materiales y en trabajos de recuperación de pavimentos.

Según el contenido de asfalto en la emulsión, su tipo y polaridad o carga eléctrica, las emulsiones asfálticas se clasifican como se muestra en la tabla 3.

TABLA 3 Clasificación de las emulsiones asfálticas.

<b>Clasificación</b>	<b>Contenido de cemento asfáltico en masa %</b>	<b>Tipo</b>	<b>Polaridad</b>
EAR-55	55	Rompimiento rápido	Aniónica
EAR-60	60		
EAM-60	60	Rompimiento medio	
EAM-65	65		
EAL-55	55	Rompimiento lento	
EAL-60	60		
EAI-60	60	Para impregnación	
ECR-60	60	Rompimiento rápido	Catiónica
ECR-65	65		
ECR-70	70		
ECM-65	65	Rompimiento medio	
ECL-65	65	Rompimiento lento	
ECI-60	60	Para impregnación	
ECS-60	60	Sobrestabilizada	

FUENTE: NORMA SCT

N-CMT-4-05-001/06. Calidad de Materiales Asfálticos.

**c) Especificaciones.**

Las emulsiones asfálticas deben satisfacer los requisitos de calidad que se indican a continuación:

**REQUISITOS DE CALIDAD PARA EMULSIONES ASFÁLTICAS.**

- **ANIÓNICAS.**

Las emulsiones asfálticas aniónicas, según su clasificación, han de cumplir con todo los requisitos establecidos en la tabla 4.

TABLA 4 Requisitos de calidad para emulsiones asfálticas aniónicas.

Características	Clasificación						
	EAR-55	EAR-60	EAM-60	EAM-65	EAL-55	EAL-60	EAI-60
<b>De la emulsión</b>							
Contenido de cemento asfáltico en masa; %, mínimo	55	60	60	65	55	60	60
Viscosidad Saybolt- Furol a 25 °C ; s, mínimo	5	-	-	-	20	20	5
Viscosidad Saybolt-Furol a 50 °C ; s, mínimo	-	40	50	25	-	-	-
Asentamiento en 5 días; diferencia en %, máximo	5	5	5	5	5	5	5
Retenido en malla No 20 en la prueba del tamiz; %, máximo	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Pasa malla No 20 y se retiene en la malla No 60 en la prueba del tamiz; %, máximo	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Cubrimiento del agregado seco; %, mínimo	-	-	90	90	90	90	-
Cubrimiento del agregado húmedo; %, mínimo	-	-	75	75	75	75	-
Miscibilidad con cemento Portland; %, máximo	-	-	-	-	2	2	-
Carga eléctrica de las partículas	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Demulsibilidad; %	60 mín	50 mín	30 mín	30 mín	-	-	-
<b>Del residuo de la destilación</b>							
Viscosidad dinámica a 60 °C; Pa-s (P <sup>[1]</sup> )	50±10 (500±100)	100±20 (1 000±200)	50±10 (500±100)	100±20 (1 000±200)	50±10 (500±100)	100±20 (1 000±200)	50±10 (500±100)
Penetración a 25 °C, en 100 g y 5 s; 10 <sup>-1</sup> mm	100-200	50-90	100-200	50-90	100-200	50-90	150-250
Solubilidad; %, mínimo	97.5	97.5	97.5	97.5	97.5	97.5	97.5
Ductilidad a 25°C; cm, mínimo	40	40	40	40	40	40	40

[1] Poises

FUENTE: NORMA SCT

N-CMT-4-05-001/06. Calidad de Materiales Asfálticos.

• **CATIÓNICAS.**

Las emulsiones asfálticas catiónicas, según su clasificación, han de cumplir con todos los requisitos establecidos en la tabla 5.

TABLA 5 Requisitos de calidad para emulsiones asfálticas catiónicas.

Características	Clasificación						
	ECR-60	ECR-65	ECR-70	ECM-65	ECL-65	ECI-60	ECS-60
<b>De la emulsión</b>							
Contenido de cemento asfáltico en masa; %, mínimo	60	65	70	65	65	60	60
Viscosidad Saybolt- Furol a 25 °C ; s, mínimo	-	-	-	-	25	5	5
Viscosidad Saybolt-Furol a 50 °C ; s, mínimo	5	40	50	25	-	-	-
Asentamiento en 5 días; diferencia en %, máximo	5	5	5	5	5	10	5
Retenido en malla No 20 en la prueba del tamiz; %, máximo	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Pasa malla No 20 y se retiene en la malla No 60 en la prueba del tamiz; % , máximo	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Cubrimiento del agregado seco; %, mínimo	-	-	-	90	90	-	90
Cubrimiento del agregado húmedo; %, mínimo	-	-	-	75	75	-	75
Carga eléctrica de las partículas	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
Disolvente en volumen; %, máximo	-	3	3	5	-	15	-
Índice de ruptura; %	< 100	< 100	< 100	80-140	> 120	-	> 120
<b>Del residuo de la destilación</b>							
Viscosidad dinámica a 60 °C; Pa-s ( P <sup>[1]</sup> )	50±10 (500±100)	100±10 (500±100)	50±10 (500±100)	50±20 (500±100)	50±10 (500±100)	50±20 (500±100)	50±10 (500±100)
Penetración <sup>[2]</sup> a 25 °C, en 100 g y 5 s; 10 <sup>-1</sup> mm	110-250	110-250	110-250	100-250	100-250	100-400	100-250
Solubilidad; %, mínimo	97.5	97.5	97.5	97.5	97.5	97.5	-
Ductilidad a 25°C; cm, mínimo	40	40	40	40	40	40	-

[1] poises

[2] En climas que alcancen temperaturas iguales o mayores de 40 °C, la penetración en el residuo de la destilación de las emulsiones ECR-65, ECR-70, ECM-65 y ECL-65, en el Proyecto se puede considerar de 50 a 90x10<sup>-1</sup> mm.

FUENTE: NORMA SCT

N-CMT-4-05-001/06. Calidad de Materiales Asfálticos.

## II. 7 Ventajas y recomendaciones

### a) Ventajas de las Emulsiones Asfálticas.

En esta sección veremos qué ventajas tienen las emulsiones asfálticas sobre los asfaltos rebajados y las mezclas asfálticas elaboradas en caliente.

- 1) Es un ligante asfáltico no contaminante ni peligroso, ya que contiene del 35 al 40% de agua como solvente.
- 2) Su manejo es sencillo y seguro, gracias a su baja viscosidad a temperatura ambiente.
- 3) Tiene un límite de almacenamiento y es muy amplio, ya que puede ser almacenado por semanas o meses si los contenedores están debidamente equipados y acondicionados, debido entre otras cosas a la igualdad de las densidades de sus componentes.
- 4) Tiene una gran adhesión con cualquier agregado pétreo, aún en condiciones de humedad adversas debido a la enorme dispersión de las partículas de asfalto de tamaño muy pequeño y al uso de agentes emulsificantes.
- 5) Se aplica en un lapso muy corto de tiempo, lo que permite la pronta funcionalidad de la obra en que se estén usando.
- 6) Presenta un bajo costo de la fase dispersante, que es el agua.
- 7) Se emplean materiales pétreos locales, lo que elimina la transportación de este tipo de materiales por grandes distancias.
- 8) El equipo de aplicación es mucho más sencillo debido a que todos sus componentes se aplican a temperatura ambiente.
- 9) Por su aplicación en frío, ayuda a no alterar el medio ambiente y queda suprimida la emisión de humos o gases.
- 10) El empleo del agua como solvente no crea problema por desperdicio, ya que se integra al ambiente sin contaminarlo.

### b) Recomendaciones para el uso de Emulsiones Asfálticas.

Las recomendaciones más generales para el uso de las emulsiones asfálticas son las que se describen a continuación:

- 1) Si el depósito se usó para almacenar emulsiones aniónicas y se van a almacenar emulsiones catiónicas, es necesario neutralizar la acción de aquella lavando el tanque, primero con agua y posteriormente con ácido clorhídrico diluido al uno por ciento.
- 2) Por el contrario, si el depósito se usó para almacenar emulsiones catiónicas y se quiere almacenar emulsiones aniónicas, se tendrá que lavar con agua y neutralizarlo con sosa cáustica al 0.3 por ciento.
- 3) Para descargar más emulsión sobre la ya almacenada, es necesario que el tubo de descarga llegue al fondo para no romper la nata de la superficie, de otra forma, se corre el riesgo de obstruir las bombas.
- 4) Cuando una fábrica o compañía está establecida permanentemente en una región donde se registran temperaturas muy bajas, los tanques deben tener un sistema de calentamiento adecuado o estar cubiertos con algún sistema aislante, para evitar la congelación.
- 5) Cuando los tanques de almacenamiento sean los que usa una compañía constructora, los depósitos se protegerán con mechones alrededor, lo que será suficiente para que no baje la



temperatura. Si los tanques están enterrados, no hay necesidad de tomar otra medida para evitar la congelación.

6) Antes de recibir una emulsión en obra, se recomienda comprobar su calidad y el tipo de emulsión de que se trate, haciendo las pruebas de identificación que se recomiendan en cada caso.

7) Una emulsión que cumple con las especificaciones de calidad, puede estar almacenada durante más de un año, si se recircula sistemáticamente para mantenerla homogénea.

8) Los tanques de almacenamiento deberán tener un sistema de recirculación, con el objeto de evitar el asentamiento del asfalto contenido en la emulsión.

9) La temperatura ambiente al aplicarse la emulsión, deberá ser de 10 °C mínimo y en ascenso y nunca debe de hacerse cuando la temperatura sea menor o baje durante la noche.

10) La emulsión, una vez que es desestabilizada (o sea que ya se produjo el rompimiento), no debe de re-emulsificarse aún en presencia de agua y del paso de los vehículos; por este motivo es muy importante que el emulsificante sea el adecuado.

## CAPÍTULO III. AGREGADOS PÉTREOS

### III.1 Definición de agregados pétreos

**Agregados pétreos.** Materiales naturales que se extraen de los macizos rocosos o que aparecen en cierta extensión, derivados de la erosión y transporte de aquellos.

Material granular que se utiliza mezclado con un cementante para formar morteros o concretos hidráulicos o asfálticos; o solo, como base de pavimento o balasto de ferrocarril, entre otros.

Cualquier clase de material de origen mineral, inerte y duro, utilizado para mezclarse en forma de partículas graduadas o fragmentos.

### III.2 Composición

Los agregados pétreos se componen de minerales en donde un:

**Mineral.** Es una sustancia natural sólida; con cierta composición química, ciertas propiedades físicas y que tienden a formar cuerpos geométricos regulares conocidos como cristales.

En la práctica para clasificar manualmente, esto significa de manera visual y si acaso con la ayuda de una lupa, la determinación muy aproximada de la composición, mineral de cualquier roca ígnea, se hace con base en el tono claro y oscuro que presente la roca.

Si la roca tiene un contenido importante de ferromagnesianos, en este caso será hornblenda, piroxeno, olivina y mica, su tono tenderá a ser oscuro. Si el contenido de no ferromagnesianos es importante su tono tenderá a ser claro, en este caso se encuentran la ortoclasa, cuarzo, plagioclasa y nefelina, ver figura 15. Además se tienen los nombres de las rocas ígneas más comunes (existentes aún más nombres).

Los nombres de las rocas se dan tomando en cuenta dos rangos: 1) la textura y 2) la composición mineral (tipo y cantidad de minerales).

Por ejemplo, en una roca con textura afanítica y composición aproximada de 2/4 partes de ortoclasa, 1/4 parte de cuarzo y el resto entre plagioclasas y ferromagnesianos, el material se llamará riolita.

Si la roca con textura fanerítica se enfrió formando un dique y tiene aproximadamente 50 % de no ferromagnesianos y 50 % de ferromagnesianos. La roca es un gabro.

La roca con textura afanítica de un derrame de lava tiene poco menos de 75 % no ferromagnesianos y el resto de ferromagnesianos. La roca es andesita o piedra pómez.

Si forma a un volcán en escudo con textura afanítica y tiene aproximadamente mitad y mitad de ferromagnesianos y no ferromagnesianos. La roca es un basalto.

En la tabla 6 se muestra el tipo de roca y origen, nombre, componentes mineralógicos, textura, estructura.

TABLA 6 Familia de rocas.

	Tipo de Roca y origen	Nombre	Componentes mineralógicos	Textura	Estructura
<b>ígneas</b>	Intrusivas	Granito	Cuarzo, feldspatos, mica y plagioclasa	Fanerítica	Batolitos cuerpos intrusivos
		Diorita	Plagioclasa y mica	Fanerítica	Cuerpos intrusivos
		Gabro	Plagioclasa y mica	Fanerítica	Cuerpos intrusivos
	Extrusivas	Riolita	Cuarzo, feldspatos, plagioclasa, vidrio y mica	Afanítica Porfírica	Domos flujos de lava
		Andesita	Plagioclasa, vidrio y mica	Afanítica porfírica	Derrames de lava
		Basalto	Plagioclasa, vidrio y mica	Afanítica vesicular	Derrames de lava
	Tobas	Variable	Porfírica	Pseudoestratificación	
<b>Sedimentarias</b>	Clásticas	Conglomerado	Fragmento de roca y matriz	Fragmentos redondeados 2 mm de diámetro	Estratificación gruesa, lentes rellenos de causes, masiva
		Arenisca	Cuarzo, plagioclasa, y fragmentos de roca	Fragmentos 2 mm a 1/16 mm de diámetro	Estratificación masiva lentes
		Lutita	Materiales arcillosos	Fragmentos 1/16 mm de diámetro	Laminaciones masiva
	No clásticas	Caliza	Calcita	Cristalina	Estratificación masiva
		Marga	Calcita y minerales arcillosos	Cristalina	Estratificación
		Dolomita	Calcita y dolomita	Cristalina	Estratificación masiva
		Yeso	Yeso anhidrita	Cristalina	Vetas y lentes
	Carbón	Carbón	Criptocristalina	Mantos, vetas, lentes	
<b>Metamórficas</b>	Foliadas	Pizarra pilita	Cuarzo, micas, clorita, sericita	Foliado de grano fino	Foliación
		Esquistos	Micas, clorita, cuarzo, calcita y feldspatos	Foliada de grano medio	Foliación
		Gneis	Cuarzo, feldspatos ferromagnesianos	Foliada de grano grueso	Foliación masiva
	No foliadas	Hornfels	Mica, granate, piroxeno, cuarzo, feldspatos	Afanítica	Masiva
		Cuarcita	Cuarzo, feldspatos, sillimanita	Granoblástica	Masiva
		Mármol	Calcita, piroxeno y anhidrita	Granoblástica	Masiva

En la siguiente figura 15 se muestran la composición mineralógica de las rocas ígneas.

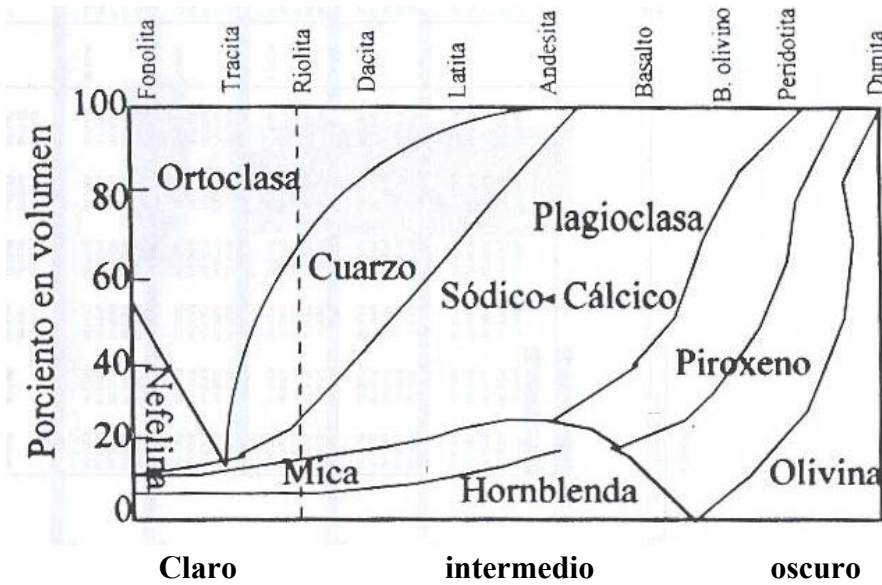


Figura 15 Composición mineralógica de las rocas ígneas.

### III.3 Clasificación de los materiales pétreos

a) El ciclo de las rocas se indica en la figura 16.

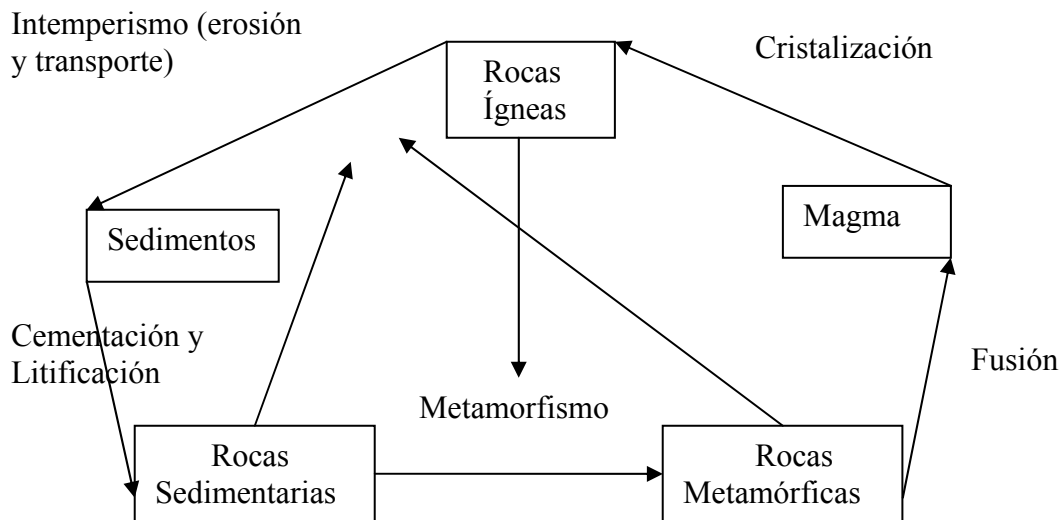


Figura 16 Ciclo de las rocas.

b) La clasificación de las rocas por su origen. Las rocas se dividen en tres tipos generales: Ígneas, sedimentarias y metamórficas (ver tabla 6).

**Rocas Ígneas.** Constan de material fundido que se ha enfriado y solidificado. Hay dos tipos: Extrusivas e intrusivas.

Extrusivas son formadas a partir del material que se ha vertido afuera, sobre la superficie terrestre, durante una erupción volcánica. La roca resultante tiene una apariencia y estructura vidriosa debido a que el material se enfría rápidamente al ser expuesto a la atmósfera.

Intrusivas, se forman a partir del magma que queda atrapado en las profundidades de la corteza terrestre. Se enfría y endurece lentamente, permitiendo la formación de una estructura cristalina.

**Rocas Sedimentarias.** Se forman por la acumulación de sedimentos en el agua, o a medida que el agua se deposita. Este puede consistir de partículas minerales, de residuos de productos animales, de plantas, de los productos finales de una acción química (sal, yeso), la combinación de cualquiera de estos tipos de materiales.

Dos términos que se aplican son clásticas y las no clásticas. Clásticas son aquellas que contienen un porcentaje alto de sílice. Aquellas rocas que contienen un alto porcentaje de carbonato de calcio son las no clásticas.

Las rocas sedimentarias se encuentran, característicamente, en capas, dentro de la corteza terrestre. Esta estratificación es la manera en que se formaron: a partir de depósitos de partículas finas, generalmente sedimentados sobre el fondo de lagos o mares antiguos.

**Rocas Metamórficas.** Son, generalmente, rocas sedimentarias o ígneas que han sido transformadas por procesos de intensa presión y calor dentro de la tierra, y también por reacciones químicas.

Muchos tipos de rocas metamórficas presentan un rasgo característico: los minerales están alineados en planos paralelos. Partir la roca en el sentido de sus planos es mucho más fácil que partirla en sus otras direcciones. Las que exhiben este tipo de estructura se denominan foliadas. Ejemplos son los gneises, los esquistos (formados de rocas ígneas) y la pizarra (formada de la arcilla esquistosa; una roca sedimentaria). El mármol (formado de las calizas) y la cuarcita (formada de las areniscas) son tipos comunes que no presentan foliación.

### III. 4 Especificaciones

#### a) REQUISITOS DE CALIDAD DE MATERIALES PÉTREOS PARA CARPETAS ASFÁLTICAS.

- **De granulometría densa.**

El material pétreo que se utilice en la elaboración de carpetas asfálticas de granulometría densa, con mezcla elaborada en caliente o en frío, en función de su tamaño nominal y del tránsito esperado, en términos del número de ejes equivalentes de 8,2 toneladas acumulados durante la vida útil del pavimento ( $\Sigma L$ ), cumplirá con lo que se indica a continuación:

- a) Cuando el tránsito esperado ( $\Sigma L$ ) sea igual a 1 millón de ejes equivalentes o menor el material pétreo, según su tamaño nominal, cumplirá con las características granulométricas que se establecen en la tabla 7 o bien las señaladas en la tabla 9, así como con los requisitos de calidad que se indican en la tabla 8.
- b) Si el tránsito esperado ( $\Sigma L$ ) es mayor de 1 millón de ejes equivalentes, el material pétreo cumplirá con las características granulométricas que se establecen en la tabla 9 y con los requisitos de calidad que se indican en la tabla 10.

FUENTE: NORMA SCT

N-CMT-4-04/03. Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas.

TABLA 7 Requisitos de granulometría del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa (únicamente para  $\Sigma L \leq 10^6$ ).

Malla		Tamaño nominal del material pétreo mm (pulg.)				
		12.5 (1/2)	19 (3/4)	25 (1)	37.5 (1 1/2)	50 (2)
Abertura mm	Designación	Porcentaje que pasa				
50	2"	-	-	-	-	100
37.5	1 1/2"	-	-	-	100	90-100
25	1"	-	-	100	90-100	76-90
19	3/4"	-	100	90-100	79-92	66-83
12.5	1/2"	100	90-100	76-89	64-81	53-74
9.5	3/8"	90-100	79-92	67-82	56-75	47-68
6.3	1/4"	76-89	66-81	56-71	47-65	39-59
4.75	No 4	68-82	59-74	50-64	42-58	35-53
2	No 10	48-64	41-55	36-46	30-42	26-38
0.85	No 20	33-49	28-42	25-25	21-31	19-28
0.425	No 40	23-37	20-32	18-27	15-24	13-21
0.25	No 60	17-29	15-25	13-21	11-19	9-16
0.15	No 100	12-21	11-18	9-16	8-14	6-12
0.075	No 200	7-10	6-9	5-8	4-7	3-6

TABLA 8 Requisitos de calidad del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa (únicamente para  $\Sigma L \leq 10^6$ ).

Característica	Valor
Densidad relativa, mínimo	2.4
Desgaste Los Ángeles; %, máximo	35
Partículas alargadas y lajeadas; %, máximo	40
Equivalente de arena; % mínimo	50
Pérdida de estabilidad por inmersión en agua; %, máximo	25

FUENTE: NORMA SCT

N-CMT-4-04/03. Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas.

TABLA 9 Requisitos de granulometría del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa (para cualquier valor de  $\Sigma L$ ).

Malla		Tamaño nominal del material pétreo mm (pulg.)				
Abertura mm	Designación	12.5 (1/2)	19 (3/4)	25 (1)	37.5 (1 1/2)	50 (2)
		Porcentaje que pasa				
50	2"	-	-	-	-	100
37.5	1 1/2"	-	-	-	100	90-100
25	1"	-	-	100	90-100	74-90
19	3/4"	-	100	90-100	79-90	62-79
12.5	1/2"	100	90-100	72-90	58-71	46-60
9.5	3/8"	90-100	76-90	60-76	47-60	39-50
6.3	1/4"	70-81	56-69	44-57	36-46	30-39
4.75	No 4	56-69	45-39	37-48	30-39	25-34
2	No 10	28-42	25-35	20-29	17-24	13-21
0.85	No 20	18-27	15-22	12-19	9-16	6-13
0.425	No 40	13-20	11-16	8-14	5-11	3-9
0.25	No 60	10-15	8-13	6-11	4-9	2-7
0.15	No 100	6-12	5-10	4-8	2-7	1-5
0.075	No 200	2-7	2-6	2-5	1-4	0-3

TABLA 10 Requisitos de calidad del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa (para  $\Sigma L > 10^6$ ).

Características	Valor
Densidad relativa, mínimo	2.4
Desgaste Los Ángeles; %, máximo	30
Partículas alargadas y lajeadas; %, máximo	35
Equivalente de arena; %, mínimo	50
Pérdida de estabilidad por inmersión en agua; %, máximo	25

FUENTE: NORMA SCT

N-CMT-4-04/03. Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas.

- **De granulometría abierta.**

El material pétreo que se emplee en la elaboración de carpetas asfálticas de granulometría abierta, generalmente con mezcla en caliente, cumplirá con las características granulométricas que se establecen en la tabla 11, en función del espesor de la carpeta, así como con los requisitos de calidad que se indican en la tabla 12.

TABLA 11 Requisitos granulométricos del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría abierta.

Malla		Porcentaje que pasa	
Abertura mm	Designación	Para espesores $\leq 4$ cm	Para espesores $> 4$ cm
25	1"	-	100
19	3/4"	100	62-100
12.5	1/2"	65-100	45-70
9.5	3/8"	48-72	33-58
6.3	1/4"	30-52	22-43
4.75	No 4	18- 38	14-33
2	No 10	5-19	4-19
0.075	No 200	2-4	2-4

TABLA 12 Requisitos de calidad del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría abierta.

Características <sup>[1]</sup>	Valor
Densidad relativa, mínimo	2.4
Desgaste Los Ángeles; %, máximo	30
Partículas alargadas y lajeadas; %, máximo	25
Equivalente de arena; %, mínimo	50
Pérdida de estabilidad por inmersión en agua; %, máximo	25

[1] El material debe ser 100 % producto de trituración de roca sana

FUENTE: NORMA SCT

N-CMT-4-04/03. Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas.

- **De mortero asfáltico.**

El material pétreo que se utilice en la elaboración de carpetas de mortero asfáltico, generalmente con mezcla en frío, cumplirá con las características granulométricas que se establecen en la tabla 13 y con los requisitos de calidad en la tabla 14.

TABLA 13 Requisitos de granulometría del material pétreo para carpetas de mortero asfáltico.

Malla		Porcentaje que pasa
Abertura mm	Designación	
4.75	No 4	100
2	No 10	62-100
0.85	No 20	43-72
0.425	No 40	26-53
0.25	No 60	17- 41
0.15	No 100	10-30
0.075	No 200	5-15



TABLA 14 Requisitos de calidad del material pétreo para carpetas de mortero asfáltico.

Características	Valor
Desgaste por abrasión en húmedo; %, máximo	10
Equivalente de arena; %, mínimo	50
Pérdida de estabilidad por inmersión en agua; %, máximo	25

Fuente: NORMA SCT

N-CMT-4-04/03. Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas.

- **por el sistema de riegos.**

El material pétreo que se utilice en la elaboración de carpetas construidas por el sistema de riegos, según su denominación, cumplirá con las características granulométricas que se establecen en la tabla 15, así como con los requisitos de calidad que se indican en la tabla 16.

TABLA 15 Requisitos de granulometría del material pétreo para carpetas por el sistema de riegos.

Malla		Denominación del material pétreo				
Abertura mm	Designación	1	2	3-A	3-B	3-E
<b>Porcentaje que pasa</b>						
31.5	11/4"	100	-	-	-	-
25	1"	95 mín	-	-	-	-
19	3/4"	-	100	-	-	-
12.5	1/2"	5 máx	95 mín	100	-	100
9.5	3/8"	-	-	95 mín	100	95 mín
6.3	1/4"	0	5 máx	-	95 mín	-
4.75	No 4	-	-	-	-	5 máx
2	No 10	-	0	5 máx	5 máx	0
0.425	No 40	-	-	0	0	-

TABLA 16 Requisitos de calidad del material pétreo para carpetas por el sistema de riegos.

Características	Valor
Desgaste Los Ángeles; %, máximo	30
Partículas alargadas y lajeadas; %, máximo	35
Intemperismo acelerado; %, máximo	12
Desprendimiento por fricción; %, máximo	25
Cubrimiento con asfalto (Método Ingles); %. mínimo	90

FUENTE: NORMA SCT

N-CMT-4-04/03. Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas.

**b) MEZCLAS ASFÁLTICAS.**

Mezcla asfáltica es el producto obtenido de la incorporación y distribución uniforme de un material asfáltico en uno pétreo.

Según el procedimiento de mezclado se clasifica en:

**MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.**

Son las elaboradas en caliente, utilizando cemento asfáltico y materiales pétreos en una planta mezcladora estacionaria o móvil, provista del equipo necesario para calentar los componentes de la mezcla. En la figura 17 se aprecia una planta productora de mezcla asfáltica en caliente y productora de agregados pétreos, donde el cemento asfáltico utilizado es el AC-20 y los agregados triturados de tipo basáltico.



Figura 17 Planta de asfalto del Distrito Federal, productora de mezcla asfáltica en caliente y la productora de agregados pétreos ubicada en la Avenida de la IMÁN 263 colonia Ajusco, Delegación Coyoacán México Distrito Federal.

Las mezclas en caliente se clasifican a su vez en:

- **Mezcla asfáltica de granulometría densa.**

Es la mezcla en caliente, uniforme y homogénea, elaborada con cemento asfáltico y materiales pétreos bien graduados, con tamaño nominal entre 37.5 milímetros (1 1/2 pulg.) y 9.5 milímetros (3/8 pulg.), que satisfagan los requisitos de calidad establecidos en la Cláusula D.

de la norma N-CMT-4-04. Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas. Normalmente se utilizan en la construcción de carpetas asfálticas de pavimentos nuevos en los que se requiere una alta resistencia estructural, o en renivelaciones y refuerzo de pavimentos existentes.

- **Mezcla asfáltica de granulometría abierta.**

Es la mezcla en caliente, uniforme, homogénea y con un alto porcentaje de vacíos, elaborada con cemento asfáltico y materiales pétreos de granulometría uniforme, con tamaño nominal entre 12.5 milímetros (1/2pulg.) y 6.3 milímetros (1/4pulg.), que satisfagan los requisitos de calidad establecidos en la Cláusula E. de la Norma N-CMT-4-04. Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas. Estas mezclas normalmente se utilizan para formar capas de rodadura relativamente delgadas, no tienen función estructural y generalmente se construyen sobre una carpeta de granulometría densa, con la finalidad principal de satisfacer los requerimientos de calidad de rodamiento del tránsito, al permitir que el agua de lluvia sea desplazada por las llantas de los vehículos, ocupando los vacíos de la carpeta, con lo que se incrementa la fricción de las llantas con la superficie de rodadura, se minimiza el acuaplaneo, se reduce la cantidad de agua que se impulsa sobre los vehículos adyacentes y se mejora la visibilidad del señalamiento horizontal. Las mezclas asfálticas de granulometría abierta no deben colocarse en zonas susceptibles al congelamiento ni donde la precipitación sea menor de 600 milímetros por año.

### MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO.

Son las elaboradas en frío, en una planta mezcladora móvil, utilizando emulsiones asfálticas o asfaltos rebajados y materiales pétreos. A continuación en la figura 18 se muestra una planta productora de mezcla asfáltica en frío, donde utilizan asfalto AC-20 modificado con polímero con algunos aditivos que la hacen una emulsión y agregados pétreos que se utiliza para bacheo.



Figura 18 Planta de mezcla asfáltica en frío con asfalto modificado con polímero nova asfalto, no- bache ubicada en Calle Latamex N.1 colonia santa Bárbara centro Iztapaluca estado de México.

Las mezclas asfálticas en frío se clasifican a su vez en:

- **Mezcla asfáltica de granulometría densa.**

Es la mezcla en frío, uniforme y homogénea, elaborada con emulsión asfáltica o asfalto rebajado y materiales pétreos, con tamaño nominal entre 37.5 milímetros (1 1/2pulg) y 9.5

milímetros (3/8pulg), que satisfagan los requisitos de calidad establecidos en la Cláusula D de la Norma N-CMT-4-04. Materiales Pétreos para Mezclas asfálticas. Normalmente se utilizan en los casos en que la intensidad del tránsito ( $\Sigma L$ ) es igual a 1 millón de ejes equivalentes o menor, en donde no se requiera de una alta resistencia estructural, para la construcción de carpetas asfálticas de pavimentos nuevos y en carpetas para refuerzo de pavimentos existentes, así como para la reparación de baches.

- **Mortero asfáltico.**

Es la mezcla en frío, uniforme y homogénea, elaborada con emulsión asfáltica o asfalto rebajado, agua y arena con tamaño máximo de 2.36 milímetros (No 8), que satisfagan los requisitos de calidad establecidos en la Cláusula F. de la Norma N-CMT-4-04. Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas. Normalmente se coloca sobre una base impregnada o una carpeta asfáltica, como capa de rodadura.

Nota. Los asfaltos rebajados no deben de emplearse debido a que producen contaminación y su costo es muy elevado PEMEX refinación ya no los produce debido a la bondad que no proporciona la emulsión asfáltica.

### **MEZCLA ASFÁLTICA POR EL SISTEMA DE RIEGOS.**

Son las que se construyen mediante la aplicación de uno o dos riegos de un material asfáltico, intercalados con una, dos o tres capas sucesivas de material pétreo triturado de tamaños decrecientes que, según su denominación, satisfagan los requisitos de calidad establecidos en la Cláusula G de la norma N-CMT-4-04. Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas. Las carpetas por el sistema de riegos se clasifican en carpetas de uno, de dos o de tres riegos, pueden ser premezcladas o no. Normalmente se colocan sobre una base o una carpeta asfáltica, nueva o existente, como capa de rodadura con el objeto de proporcionar resistencia al derramamiento y al pulimiento.

FUENTE: NORMA SCT

N-CMT-4-05-003/02. Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras.

### **III. 5 Propiedades**

#### **Propiedades del Agregado.**

a) **Graduación de la Partícula.** Es la distribución de varios tamaños de partículas dentro del agregado.

#### **Tamaño de Partículas.**

Existen dos formas de designar tamaños de partículas:

- Tamaño nominal de partícula, designando como un tamiz más grande que el primer tamiz que retiene más del 10 por ciento de las partículas de agregado, en una serie normal de tamices.
- Tamaño máximo de partícula, designado como un tamiz más grande que el tamaño nominal de partícula. Típicamente, este es el tamiz más grande por el cual pasa el 100 por ciento de las partículas de agregado.

En una mezcla de pavimentación con tamaños de partícula de  $\frac{3}{4}$  pulgada y 10 % ó menos pasando la malla de 1 pulgada. El tamaño nominal de partícula será  $\frac{3}{4}$  pulgada y el tamaño máximo será 1 pulgada.

Para ilustrar las diferencias entre las dos designaciones, considere el siguiente ejemplo: Se efectúa un tamizado de una muestra de agregado que va a ser usada en una mezcla de pavimentación. El tamiz de 19 mm ( $\frac{3}{4}$  pulgada) retiene 4 por ciento de todas las partículas de agregado. El tamiz de 12.5 mm ( $\frac{1}{2}$  pulgada), inmediatamente por debajo del tamiz de 19 mm ( $\frac{3}{4}$  pulgada), retiene un total de 18 por ciento de todas las partículas de agregado. En este caso, el tamaño nominal es de 19 mm ( $\frac{3}{4}$  pulgada), y el tamaño máximo es 25 mm (1 pulgada).

Una mezcla de pavimentación se clasifica de acuerdo a su tamaño máximo o a su tamaño nominal. Por lo tanto, en el ejemplo anterior la mezcla se denominaría “mezcla de 25 mm” de acuerdo al tamaño máximo del agregado, mientras que se denominaría “mezcla de 19 mm” de acuerdo al tamaño nominal del agregado.

### **Granulometría del agregado.**

La granulometría de partículas es determinada por un análisis de tamices efectuado sobre las muestras de agregado. Consiste en pasar la muestra por una serie de tamices, cada uno tiene aberturas de un tamaño específico. Los tamices están denominados de acuerdo al tamaño de sus aberturas. Las partículas gruesas quedan atrapadas en los tamices superiores; las partículas de tamaño medio pasan a través de los tamices medianos; y las partículas finas pasan a través de los tamices inferiores. La granulometría del agregado, o graduación de la mezcla, tiene en cuenta el porcentaje (en peso) total de muestra que pasa por cada uno de los tamices. La granulometría es determinada al calcular el peso contenido de cada tamiz, después de haber efectuado el análisis de tamices.

Luego se resta el peso del contenido de cada tamiz del peso total de la muestra.

En la siguiente tabla 17 se muestran una serie de tamices para llevar a cabo la granulometría de los agregados.

TABLA 17 Tamaños típicos de tamices.

Designación de Tamices Para Agregados Gruesos		Designación de Tamices Para Agregados finos	
Sistema Métrico	Sistema Habitual Norteamericano	Sistema Métrico	Sistema Habitual Norteamericano
63 mm	2-1/2 In.	2.36 mm	No. 8
50 mm	2 In.	1.18 mm	No. 16
37.5 mm	1-1/2 In.	0.60 mm	No. 30
25.0 mm	1 In.	0.30 mm	No. 50
19.0 mm	3/4 In.	0.15 mm	No. 100
12.5 mm	1/2 In.	0.075 mm	No. 200
9.5 mm	3/8 In.		
4.75 mm	No. 4		

b) **Limpieza.** Consiste en quitar la cantidad de los materiales indeseables (vegetación, arcilla esquistosa, partículas blandas, terrones de arcilla), para mejor comportamiento del pavimento.

La limpieza del agregado puede determinarse, mediante inspección visual o por un tamizado por lavado (donde el peso de la muestra de agregado antes de ser lavada es comparado con su peso después de ser lavada).

c) **Dureza.** Los agregados deben ser capaces de resistir la abrasión y degradación durante la producción, colocación, y compactación de la mezcla de pavimentación, y durante la vida de servicio del pavimento. Los agregados que están en la superficie, deben ser más duros que los agregados usados en las capas inferiores de la estructura del pavimento. Esto se debe a que las capas superficiales reciben los mayores esfuerzos y el mayor desgaste por parte de las cargas del tránsito.

d) **Forma de la partícula.** La forma de la partícula afecta la trabajabilidad de la mezcla de pavimentación durante su colocación, así como la cantidad de fuerza necesaria para compactar la mezcla a la densidad requerida. La forma de la partícula también afecta la resistencia de la estructura del pavimento durante su vida.

Las partículas irregulares y angulares generalmente resisten el desplazamiento en el pavimento, debido a que tienden a entrelazarse cuando son compactadas. El mejor entrelazamiento generalmente con partículas de bordes puntiagudos y de forma cúbica, producidas, casi siempre, por trituración.

e) **Textura superficial.** La textura superficial de las partículas de agregado determina no solo la trabajabilidad y resistencia fina de la mezcla de pavimentación, sino también las características de resistencia al deslizamiento en la superficie del pavimento. Una textura áspera, como la del papel de lija, aumenta la resistencia en pavimento debido a que evita que las partículas se muevan unas respecto a otras, y a la vez provee un coeficiente alto de fricción superficial que hace que el movimiento del tránsito sea más seguro.

f) **Capacidad de absorción.** Todos los agregados son porosos, y algunos más que otros.

La cantidad de líquido que un agregado absorbe cuando es sumergido en un baño determina su porosidad.

La capacidad de un agregado de absorber agua (o asfalto) es un elemento importante de información. Si un agregado es altamente absorbente, entonces continuará absorbiendo asfalto después del mezclado inicial en la planta, dejando así menos asfalto en su superficie para ligar las demás partículas de agregado. Debido a esto, un agregado poroso requiere cantidades mucho mayores de asfalto que las que requiere un agregado menos poroso.

Los agregados altamente porosos y absorbentes no son normalmente usados, a menos que posean otras características que los hagan deseables, a pesar de su alta capacidad de absorción.

Algunos ejemplos de dichos materiales son la escoria de alto horno y ciertos agregados sintéticos.

Estos materiales son altamente porosos, pero también son livianos en peso y poseen alta resistencia al desgaste. En el subcapítulo III.8 se da una breve explicación de estos materiales.

g) **Afinidad con el asfalto.** Es la tendencia del agregado a aceptar y a retener una capa de asfalto. Las calizas, las dolomitas, tienen alta afinidad con el asfalto y son conocidas como hidrofóbicas (repelen el agua) porque resisten a los esfuerzos del agua por separar el asfalto de sus superficies.

Los agregados hidrofílicos (atraen el agua) tienen poca afinidad con el asfalto. Por consiguiente, tienden a separarse de las partículas de asfalto cuando son expuestos al agua.

Los agregados como la cuarcita y algunos granitos son ejemplos de agregados susceptibles al desprendimiento y deben ser usados con precaución.

### III. 6 Obtención

#### a) Obtención de agregados pétreos.

Tajos a cielo abierto. Es el corte que se realiza en la superficie de un banco de materiales en forma vertical para obtener agregados.

Excavación. Operación de abrir el suelo para sacar material para obtener agregados.

Lecho de ríos. Capa muy delgada, de pocos centímetros, de roca mineral, en un conjunto estratificado.

**b) Obtención de agregados en tajos a cielo abierto por medio de trituración:**

A continuación en la figura 19 apreciamos el proceso de trituración de los agregados pétreos y la producción de mezcla asfáltica en caliente con cemento asfáltico AC-20 y agregados pétreos de tipo basáltico.



1) Trituración primaria.



2) Transportación sistema primario a secundario.



3) Trituración secundaria y terciaria.

4) Criba de 3 camas 8 x 20 pies.

5) Cono de trituración de 6.”



6) Almacenamiento y planta de producción de mezcla asfáltica en caliente.



Figura 19 Planta de producción de agregados pétreos y mezcla asfáltica en caliente del grupo Tribasa planta Atlipac GCI. Ubicado en Carretera Federal – México Puebla Km. 27.5 Prolongación Pirul s/n Col. Valle Verde C. P. 56570 Iztapaluca Estado de México.

**III. 7 Bancos de materiales en la ciudad de México**

Definición de banco de materiales. Se entiende por banco y/o yacimiento de materiales pétreos aquellos depósitos naturales de grava, arena, tezontle, arcilla, piedra o cualquier otro material derivado de las rocas, utilizado como material de construcción.

Estas formaciones tienen características similares a las de los depósitos de ríos, pero debido a que están cubiertos por otros materiales se dificulta su explotación.

A continuación se menciona un ejemplo de banco de agregados en la Ciudad de México, esta información fue obtenida por medio de una visita de campo a las instalaciones del GRUPO TRIBASA planta Atlipac GCI. Que se encuentra ubicado en Carretera Federal- México-Puebla Km. 27.5 Prolongación Pirul s/n Col. Valle Verde C. P. 56570 Ixtapaluca Estado de México dicho banco es de material basáltico pertenece a las rocas ígneas lo cual produce material para base y subbase (1 1/2" a finos), material para balasto (2 1/4" a 1"), grava (1 1/2", 1", 3/4", 1/2" y 3/8") y arena (1/4"). Produce agregados pétreos en tajos a cielo abierto por medio de trituración, el procedimiento se muestra en la figura 19:

a) Limpieza del material eliminando el tepetate (descapote); mediante barrenación, y explosivos se obtienen fragmentos de roca que se empujan con un tractor, después la pala mecánica alimenta a la trituradora primaria locotrak, después se transporta por medio de bandas transportadoras al circuito secundario pero antes se clasifica de acuerdo al tipo de material limpio o contaminado para después llevarlo a la trituración secundaria, las piedras grandes se Trituran con una esfera de 5 toneladas o se rompen con martillos neumáticos o monean, esto es que se barrenan y se fragmentan mediante explosivos.

b) Almacén de material en greña (piedra de 6" de grueso y el largo varia).

Aquí clasifican el tipo de material pueden producir, si viene contaminado se pasa por una criba de 1 1/2" para despolvarlo, posteriormente se pasa al circuito secundario para producir balasto (piedra de 2 1/4" a 1") y base o subbase (1 1/2" a finos), posteriormente se pasa el material que retuvo la criba de 2 1/4" al circuito terciario, donde se producen los distintos tipos de grava de 1 1/2, 1", 3/4", 1/2", 3/8" y arena de 1/4" a finos, después se pasa a los almacenes de producto terminado.

Sus cribas constan de 3 camas donde la del circuito secundario consta de cama con criba de 4" de diámetro de abertura, la segunda cama de 2 1/4" y la tercera cama de 1 1/2", y en la de circuito terciario la primera cama la criba es de 1 1/2", la segunda cama es de 3/4" y la tercera cama es de 1/4".

Nota. Todas estas cribas van a depender del producto que se este produciendo.

### **III. 8 Clasificación de agregados pétreos para concreto asfáltico**

Los agregados son: arena, grava, piedra triturada, escoria y polvo de roca.

Dentro de estos tipos pueden ser de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias.

Los agregados usados en el pavimento asfáltico se clasifican, generalmente, de acuerdo a su origen, estos incluyen: agregados naturales, agregados procesados y agregados sintéticos o artificiales.

**Agregados Naturales.** Los agregados naturales son aquellos que son usados en su forma natural, con muy poco o ningún procesamiento.

Los principales son la grava y la arena. La grava es un tamaño de partículas igual o mayor que (1/4 de pulgada). La arena es el material con tamaño de partículas menor que (1/4 de pulgada) pero mayor que 0,075 mm. Las partículas de un tamaño menor que 0.075mm son conocidas como relleno mineral (filler), el cual consiste principalmente de limo y arcilla.

**Agregados Procesados.** Son aquellos que han sido triturados y tamizados antes de ser usados. Existen dos tipos: gravas naturales que son trituradas para volverlas más apropiadas para pavimento de mezcla asfáltica, y fragmentos de lecho de roca y de piedras grandes que deben ser reducidos en tamaño antes de ser usados en la pavimentación.

La roca es triturada por tres razones: para cambiar la textura superficial de las partículas de lisa a rugosa, para cambiar la forma de la partícula de redonda a angular, y para reducir y mejorar la distribución y el rango de los tamaños de las partículas. El propósito principal de la trituración, en el caso de los fragmentos de lecho de roca y de piedras grandes, es reducir las piedras a un tamaño que sea manejable.

El triturado de algunos tipos de roca, como las calizas, produce cantidades substanciales de pequeños fragmentos y partículas. Esta fracción de material es separada de las partículas que tienen diámetros iguales o mayores a 6.35 mm (1/4 de pulgada), y usa como agregado de arena triturada, o procesada hasta tamaños máximos de 0.60 mm (No. 30).

**Agregados Sintéticos.** Los agregados sintéticos o artificiales no existen en la naturaleza. Ellos son el producto del procesamiento físico o químico de materiales. Algunos son subproductos de procesos industriales de producción como el refinamiento de metales. Otros son producidos mediante el procesamiento de materias primas, para ser usados específicamente como agregado.

El producto secundario de un proceso industrial más comúnmente usado es la escoria de alto horno. Es una sustancia no metálica que brota a la superficie del hierro fundido durante el proceso de reducción. Una vez que es removida de la superficie del hierro, la escoria es transformada en pequeñas partículas al templarla inmediatamente con agua, o al triturarla una vez que se ha enfriado.

El empleo de los agregados sintéticos manufacturados son relativamente nuevos en la industria de la pavimentación. Ellos son producidos al quemar arcilla, arcilla esquistosa, tierra diatomácea procesada, vidrio volcánico, escoria, y otros materiales. Los productos finales son típicamente livianos y tienen una resistencia muy alta al desgaste. Los agregados sintéticos han sido usados en la pavimentación de cubiertas de puentes y cubiertas de techos, así como en capas superficiales de pavimento donde se requiere la máxima resistencia al deslizamiento.

**Polvo de Roca.** El relleno mineral y el polvo mineral están presentes en los agregados naturales y también son producidos, como subproducto, en la trituración de muchos tipos de roca. Ellos son esenciales para la producción de una mezcla densa, cohesiva, durable, y resistente a la penetración del agua.

**CAPÍTULO IV. ASFALTOS PRODUCIDOS POR PEMEX REFINACIÓN**

**IV.1 Producción de asfaltos en PEMEX refinación**

Actualmente se produce 3 tipos de asfalto: AC-5, AC-20 (consumo nacional) y AC-30 (para exportación). Todos a partir de los residuos de alto vacío provenientes de la destilación de petróleo, y son la base para la construcción de pavimentos.

En la producción de asfaltos se parte de petróleo crudo pesado, o de una mezcla de pesado y ligero, y en el proceso de refinación se obtienen por destilación primaria: Gas, Gasolina, Turbosina, kerosina, Gasóleo Ligero, Gasóleo Pesado y Residuo; este último es el portador del asfalto, que se alimenta como carga a una torre de alto vacío, en la cual se separan los gasóleos, quedando en el fondo el Residuo de Vacío, que se ajusta con un diluyente específico para dar las características de calidad del asfalto ver figura 20.

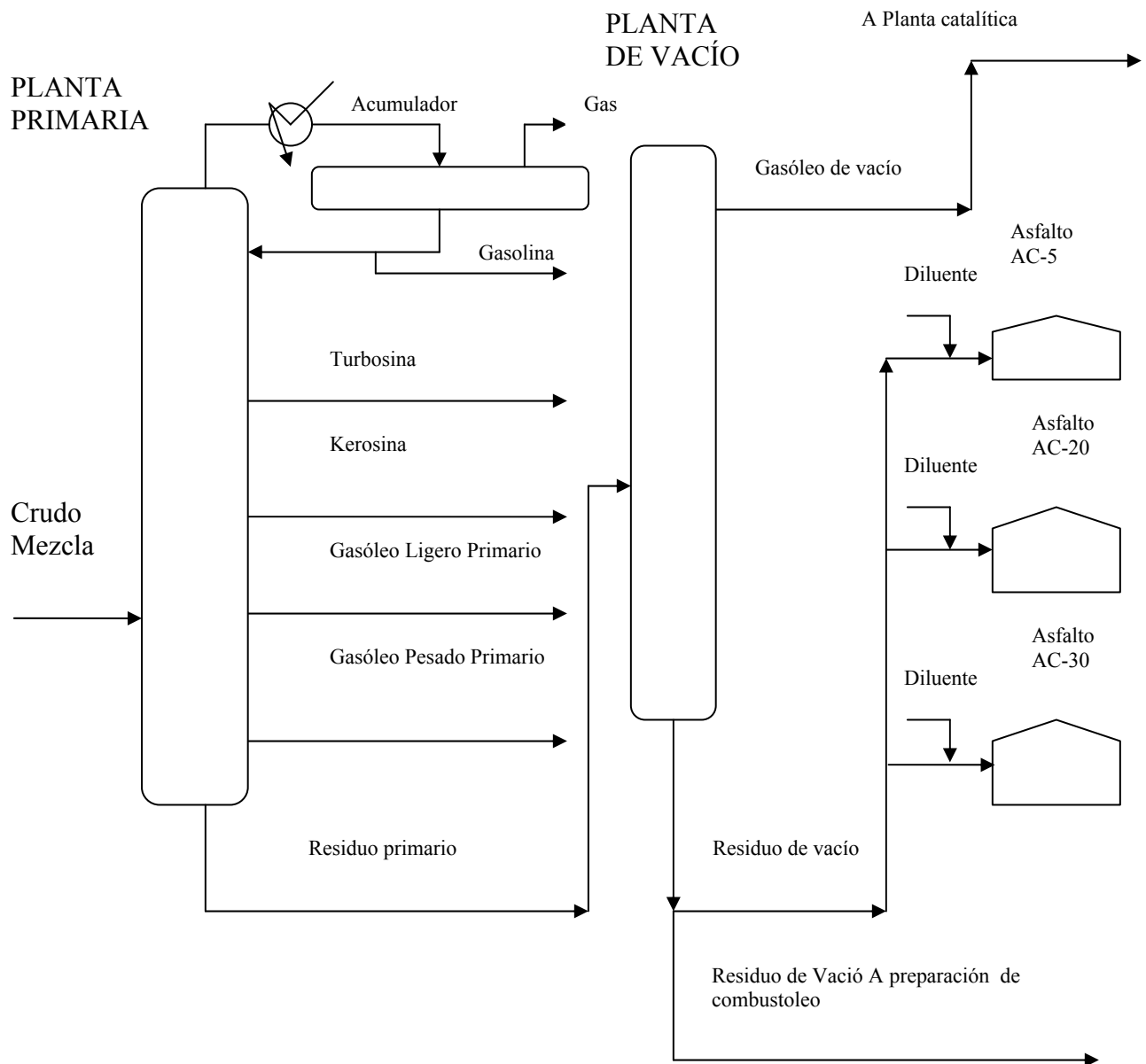


Figura 20 Preparación de asfalto a partir de petróleo crudo.

Actualmente mediante el uso de polímeros del tipo SBS (estireno-butadieno-estireno), fibra mineral, fibras celulósicas, látex, cal, negro de humo, hule de llanta entre otros productos, la industria del asfalto ha mejorado sus propiedades identificándolos como asfaltos modificados; con dichos agentes modificadores se obtiene mayor durabilidad, con el consecuente ahorro de mantenimiento en las carpetas asfálticas.

Los asfaltos producidos por PEMEX refinación han demostrado excelente funcionalidad y versatilidad para el mercado.

Sus propiedades han mejorado en la penetración, viscosidad, ductilidad, y su comportamiento en un rango más amplio de temperaturas en campo y medidos en términos de pruebas reológicas.

### **IV. 2 Calidad de los asfaltos**

Los asfaltos producidos por PEMEX están acorde con las entidades de estandarización del instituto del asfalto y las Normas ASTM, también, se han apegado a las necesidades que requieran los clientes.

Además de revisar las especificaciones, con el fin de actualizarlos con respecto a los cambios que para cada grado contemplan las normas actuales del Instituto del Asfalto, para así cubrir, las necesidades presentes, y las del futuro inmediato, porque la demanda de asfaltos de calidad internacional, exige que estos productos resistan las altas cargas de transportes actuales, el alto volumen de tránsito, que soporten cada vez mayores pesos y velocidades, y que permitan alargar los periodos de mantenimiento de las carreteras.

### **IV. 3 Especificaciones**

La calidad por grado penetración y la de grado viscosidad, corresponden a las Normas (ASTM D 3381) y AASHTO M 226. Los primeros asfaltos clasificados como AC se basan en la prueba de viscosidad para el cemento asfáltico original; los asfaltos clasificados como AR, están basados en la viscosidad del cemento asfáltico envejecido, mediante la prueba Rolling Thin Film Oven Test (RTFOT), que consiste en medir el efecto del calor y el aire, sobre una película en movimientos del asfalto semisólida, simulando el envejecimiento por manejo y calentamiento que ocurre durante el mezclado en caliente y tendido de la carpeta asfáltica, determinando la modificación de sus características antes y después de la prueba.

La prueba Rolling Thin Film Oven Test (RTFOT), se lleva a cabo en un horno especial de doble pared, que se calienta mediante resistencias eléctricas a 163 ° C. Por convención y con ventilación localizada simétricamente, a fin de distribuir el calor en la parte superior e inferior.

- a) Según su viscosidad dinámica a sesenta (60) grados Celsius, los cementos asfálticos se clasifican como se indica en la tabla 18, donde se señalan los usos más comunes de cada uno.

TABLA 18 Clasificación de los cementos asfálticos según su viscosidad dinámica a 60°C.

Clasificación	Viscosidad a 60° C Pa-s (p <sup>[1]</sup> )	Usos más comunes
AC-5	50±10 (500±100)	<ul style="list-style-type: none"> <li>En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro las regiones indicadas como Zona 1 en la Fig. 21.</li> <li>En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen para riegos de impregnación, de liga y poreo con arena, así como en estabilizaciones.</li> </ul>
AC-10	100±20 (1000±200)	<ul style="list-style-type: none"> <li>En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 2 en la Fig. 21.</li> <li>En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos, dentro de las regiones indicadas como Zona 1 en la Fig. 21.</li> </ul>
AC-20	200±40 (2000± 400)	<ul style="list-style-type: none"> <li>En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 3 en la Fig. 21.</li> <li>En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos, dentro de las regiones indicadas como Zona 2 en la Fig. 21.</li> </ul>
AC-30	300±60 (3000±600)	<ul style="list-style-type: none"> <li>En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 4 en la Fig. 21.</li> <li>En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos, dentro de las regiones indicadas como Zona 3 en la Fig. 21.</li> <li>En la elaboración de asfaltos rebajados en general, para utilizarse en carpetas de mezcla en frío, así como en riegos de impregnación.</li> </ul>

[1] Poises

FUENTE: NORMA SCT

N-CMT-4-05-001/06. Calidad de Materiales Asfálticos.



Figura 21 Regiones geográficas para la utilización de los asfaltos clasificados según su viscosidad dinámica a 60° C. (ver tabla 18).

El parámetro fundamental para elegir el tipo de asfalto es la viscosidad, útil para determinar las temperaturas adecuadas para el manejo y el uso de los asfaltos. En climas cálidos y húmedos (sur del país), los asfaltos se vuelven blandos (usar asfaltos duros). En climas fríos (norte del país), los asfaltos se endurecen (usar asfaltos blandos).

La figura 21 muestra cuatro zonas geográficas para la utilización del asfalto, clasificado esencialmente en función del clima y la topografía de cada región. La zona 3 presenta un clima húmedo, siendo así abarca casi en su totalidad, la parte sur de la República Mexicana y baja California Sur. La zona 2 y 4 presenta un clima seco; por el día presenta un clima muy cálido (la carpeta asfáltica se “expande”), y por las noches un clima frío (la carpeta asfáltica se “contrae”), abarca la parte norte del país.

FUENTE: NORMA SCT

N-CMT-4-05-001/06. Calidad de Materiales Asfálticos.

**b) REQUISITOS DE CALIDAD PARA CEMENTOS ASFÁLTICOS.**

Los cementos asfálticos deben satisfacer los requisitos de calidad que se indican en la tabla 19.

TABLA 19 Requisitos de calidad para cemento asfáltico clasificado por viscosidad dinámica a 60°C.

Características	Clasificación			
	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30
<b>Del cemento asfáltico original:</b>				
Viscosidad dinámica a 60° C; Pa·s (P <sup>[1]</sup> )	50±10 (500±100)	100±20 (1 000±200)	200±40 (2 000±400)	300±60 (3 000±600)
Viscosidad cinemática a 135°C; mm <sup>2</sup> /s, mínimo (1mm <sup>2</sup> /s = 1 centistoke)	175	250	300	350
Viscosidad Saybolt-Furol a 135 °C; s, mínimo	80	110	120	150
Penetración a 25°C, 100 g, 5s; 10 <sup>-1</sup> mm, mínimo	140	80	60	50
Punto de inflamación Cleveland; °C, mínimo	177	219	232	232
Solubilidad, %; mínimo	99	99	99	99
Punto de reblandecimiento; °C	37-43	45-52	48-56	50-58
<b>Del residuo de la prueba de la película delgada</b>				
Pérdida por calentamiento; %, máximo	1	0.5	0.5	0.5
Viscosidad dinámica a 60°C; pa·s (P <sup>[1]</sup> ), máximo	200 (2 000)	400 (4 000)	800 (8 000)	1 200 (12 000)
Ductilidad a 25°C y 5 cm/min; cm, mín.	100	75	50	40
Penetración retenida a 25 °C; %, mínimo	46	50	54	58

[1] Poises

FUENTE: NORMA SCT.

N-CMT-4-05-001/06. Calidad de Materiales Asfálticos.



#### **IV.4 Clasificación de los cementos asfálticos en México**

Estos cementos asfálticos son grado viscosidad del cemento original y están indicados en las especificaciones (ASTM D 3381 y AASHTO M 226), SCT (N- CMT-4-05-001/06).

El asfalto AC-5, corresponde a un cemento asfáltico grado viscosidad de 400 a 600 Poises a 60 ° C, con una penetración a 25 ° C, 100g, 5s de  $140 \times 10^{-1}$  mm mínimo.

El AC-20 es un cemento asfáltico con mayor dureza,  $60 \times 10^{-1}$  mm mínimo de penetración a 25 ° C, 100g, 5s con un rango de viscosidad 1600-3600 Poises a 60 ° C.

El asfalto AC-30, es mas duro que el AC-20 porque tiene una penetración a 25 ° C, 100g, 5s de  $50 \times 10^{-1}$  mm mínimo con un rango de viscosidad de 2400-3600 Poises a 60 ° C.

#### **IV. 5 Expectativas de calidad**

PEMEX establece las especificaciones correspondientes a la clasificación grado viscosidad que el mercado internacional requiere y se está estudiando la posibilidad de establecerlas con el grado viscosidad del asfalto envejecido, después de la prueba RTFOT (Rolling Thin Film Oven Test).

#### **IV. 6 Expectativas de producción**

PEMEX refinación tiene capacidad de producción muy por arriba de la demanda nacional, partiendo de la capacidad actual de 78,500 Barriles por día, y se está estudiando para aumentar la capacidad de producción.

Capacidad de producción de asfalto miles de barriles por día  
Salamanca 20, Cadereyta 20, Madero 30, Tula 4.5, Salina Cruz 4.0

Por otra parte, en PEMEX refinación se tiene interés en desarrollar tecnología para aprovechar las corrientes asfálticas en la obtención de los diversos tipos de asfalto, además de los utilizados para pavimentar y otros usos.

Además de atender el crecimiento de una demanda doméstica cada vez más tecnificada y eficiente, PEMEX refinación tendrá que prever las medidas necesarias para ampliar el mercado y aprovechar la apertura comercial, con la firma del Tratado de Libre comercio (TLC), ya que se está logrando a nivel competitivo la exportación de los asfaltos AC-20 y AC-30 en los mercados internacionales.

Finalmente PEMEX refinación ha llevado a cabo su mayor esfuerzo que se ha traducido en resultados, para estar acorde con la época de cambio que vive nuestro país con la globalización y apertura de los mercados al ofrecer asfaltos de la calidad requerida por los usuarios, no solo para cubrir la demanda nacional sino también para exportar sus excedentes a países tan exigentes como Estados Unidos de Norteamérica.

### CONCLUSIONES.

El objetivo general de este trabajo es conocer las características de los materiales empleados para la elaboración del concreto asfáltico mencionando datos concisos de dichos materiales.

En este trabajo conociendo las características de los materiales estudiados concluimos que estos son importantes por que los Ingenieros Civiles han diseñado sus mezclas asfálticas para los proyectos de carreteras con el fin de hacerlas mas duraderas, evitar fallas, fracasos y tener una mejor vida útil.

Los materiales para la elaboración del concreto asfáltico son: Asfaltos normales y agregados pétreos, aunque existe otro método que es la aplicación del asfalto modificado con polímeros y agregados pétreos, esto es la mezcla asfáltica en caliente, aunque existen varios tipos de asfaltos modificados con polímeros, va a depender de los requerimientos del proyecto que se este elaborando para emplear un asfalto modificado con el polímero adecuado.

También existe otro método para la elaboración del concreto asfáltico, que normalmente se maneja como mezcla asfáltica en frío, que es la emulsión asfáltica y agregados pétreos, la cual se usa para carreteras, en el que la emulsión se produce en planta industrial con asfalto, agua y emulsificante.

El uso de los asfaltos modificados con polímeros, se considera importante porque se puede aplicar donde existen temperaturas altas con cargas altas o lentas, y en temperaturas bajas con cargas aplicadas rápidamente, tienen la ventaja de mejorar la resistencia a la deformación permanente (ahuellamiento) y fractura permanente así como otras características como son: Viscosidad, cohesión, adhesividad, exudación, elasticidad, trabajabilidad, impermeabilidad, resistencia al envejecimiento, durabilidad, vida útil, menos ruido, mejor sellado de las fisuras y otros, su costo es alto pero es compensado con la reducción de mantenimiento y el alargamiento de la vida de servicio del pavimento.

Las emulsiones asfálticas tienen algunas ventajas, con respecto al uso del concreto asfáltico (mezcla en caliente), ya que estos no contaminan, su aplicación es sencilla y segura porque tienen baja viscosidad, gran adhesión con muchos agregados aunque estos estén húmedos, su aplicación se puede realizar de manera rápida en un tiempo corto y presentan bajo costo; se emplea agua como solvente, que es la fase continua, la cual es recuperable, su aplicación en frío no afecta el medio ambiente, permite proseguir los trabajos de asfaltado en regiones con climas húmedos o durante una temporada de lluvias, las emulsiones catiónicas son las de mayor uso en México en diferentes trabajos de pavimentación.

Los agregados pétreos deben ser producto de roca sana, naturales y de preferencia triturados para poder ser mezclados, y que cumplan con ciertas características en la mezcla, es decir, que tengan buena graduación (granulometría), limpieza, forma de las partículas, textura superficial, capacidad de absorción y afinidad con el asfalto.

Los asfaltos producidos por PEMEX refinación tienen diversas aplicaciones los cuales son usados para elaborar concreto asfáltico (mezcla asfáltica en caliente), y mezcla asfáltica (mezcla asfáltica en frío), también los usan las empresas que se dedican a fabricar asfaltos

modificados con polímeros y emulsiones asfálticas, PEMEX cumple con sus especificaciones, calidad y producción de los asfaltos para el mercado nacional y mercado internacional.

El estudio de este trabajo sirva para resolver problemas de cual material usar en la elaboración de mezcla asfáltica para un pavimento para evitar fracasos y obtener una solución evitar fallas y dar seguridad al usuario.

**BIBLIOGRAFÍA.**

- 1) MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTE.  
SECRETARÍA TÉCNICA, DIRECCIÓN DE CARRETERAS.  
MANUAL DE UTILIZACIÓN DE EMULSIONES ASFÁLTICAS EN CARRETERAS.  
BOGOTÁ D. E., OCTUBRE DE 1986.
- 2) APUNTES DE CLASE DE GEOLOGÍA, DEL QUINTO SEMESTRE, DE INGENIERÍA CIVIL, FES ACATLÁN, AGOSTO DE 1996.
- 3) GRUPO TRIBASA.  
PRIMER CICLO DE SEMINARIOS SOBRE PAVIMENTOS FLEXIBLES.  
MEMORIA ASFALTOS FEBRERO DE 1997.
- 4) ASOCIACIÓN MEXICANA DEL ASFALTO, A. C.  
PRIMER SEMINARIO “CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS EN LA CIUDAD DE MÉXICO “TOMO I, PLANTA DE ASFALTO DEL DISTRITO FEDERAL, SEPTIEMBRE DE 1998.
- 5) ASOCIACIÓN MEXICANA DEL ASFALTO, A. C.  
CURSO TÉCNICO REGIONAL DE ACTUALIZACIÓN SOBRE: “APLICACIÓN DE LOS ASFALTOS EN PAVIMENTACIÓN” JUNIO DE 1999.
- 6) ASOCIACIÓN MEXICANA DEL ASFALTO, A. C.  
PRIMER CONGRESO NACIONAL DEL ASFALTO.  
MEMORIA TOMO 2.  
COLEGIO DE INGENIEROS CIVILES DE MÉXICO.  
CIUDAD DE MÉXICO.  
AGOSTO, 1999.
- 7) ASOCIACIÓN MEXICANA DEL ASFALTOS, A.C.  
CON LA COLABORACIÓN DE LA CMIC-DELEGACIÓN JALISCO.  
SEMINARIO REGIONAL DE: “APLICACIÓN DE LOS ASFALTOS Y MEZCLAS ASFÁLTICAS” FEBRERO DEL 2000.
- 8) ASOCIACIÓN MEXICANA DEL ASFALTO, A. C.  
CENTRO DE TECNOLOGÍA Y CONCRETO CEMEX.  
AMIVTAC.  
25 ANIVERSARIO RED DE PROGRESO PARA EL SIGLO XX.  
SEMINARIO PAVIMENTOS FLEXIBLES PARTE I 26 y 27 DE OCTUBRE, 2000.
- 9) ASOCIACIÓN MEXICANA DEL ASFALTO, A. C.  
CENTRO DE TECNOLOGÍA Y CONCRETO CEMEX.  
AMIVTAC.  
25 ANIVERSARIO RED DE PROGRESO PARA EL SIGLO XX.  
SEMINARIO PAVIMENTOS FLEXIBLES PARTE 2 26 Y 27 DE OCTUBRE, 2000.

10) NORMA SCT.

N-CMT-4-05-003/02.

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES.

CALIDAD DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA CARRETERAS.

DICIEMBRE 2002.

11) NORMA SCT.

N-CMT-4-04-03.

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES.

MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS.

DICIEMBRE 2003.

12) NORMA SCT.

N-CMT-4-05-002/06.

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES.

CALIDAD DE LOS MATERIALES ASFÁLTICOS MODIFICADOS.

DICIEMBRE 2006.

13) NORMA SCT.

N-CMT-4-05-001/06.

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES.

CALIDAD DE LOS MATERIALES ASFÁLTICOS.

DICIEMBRE 2006.

14) NORMATIVA PARA LA INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE (NORMATIVA SCT), DICIEMBRE 2006.

15) INTERNET:

<http://www.monografias.com/trabajos15/asfaltos-modificados/asfaltos-modificados.shtml>

<http://www.imt.mx/Español/Publicaciones/doctec/dt23.pdf>