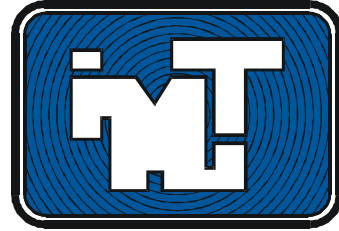


ISSN 0188-7114



---

---

# EMULSIONES ASFALTICAS

Rogelio Rodríguez Talavera  
Víctor Manuel Castaño Meneses  
Miguel Martínez Madrid

**Documento Técnico No. 23**  
**Sanfandila, Qro, 2001**

---

**SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES  
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE**

**EMULSIONES ASFALTICAS**

Rogelio Rodríguez Talavera  
Víctor Manuel Castaño Meneses  
Miguel Martínez Madrid

**Documento Técnico No. 23  
Sanfandila, Qro, 2001**

---

Este documento fue elaborado en la Coordinación de Equipamiento para el Transporte del Instituto Mexicano del Transporte, Por Rogelio Rodríguez Talavera, Víctor Manuel Castaño Meneses y Miguel Martínez Madrid.

Se contó con el apoyo de los laboratorios del Departamento de Física Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto de Física de la U.N.A.M. y del Instituto Mexicano del Transporte.

	<b>Indice</b>
<b>Resumen</b>	<b>VII</b>
<b>Abstract</b>	<b>IX</b>
<b>Resumen Ejecutivo</b>	<b>XI</b>
<b>1 Introducción</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes Generales	1
1.2 Planteamiento del Problema	2
1.3 Objetivo General	2
<b>2 Fundamentos</b>	<b>3</b>
2.1 Descripción del Asfalto Modificado con Hule	3
2.1.1 El asfalto	3
2.1.2 El Hule SBR (estireno – butadieno)	6
2.2 El Compósito Asfalto-Hule	7
2.3 Ventajas del Sistema Asfalto-Hule para Carpetas Asfálticas	10
<b>3 Emulsiones Asfálticas</b>	<b>15</b>
3.1 Las Emulsiones	15
3.1.1 Importancia del Tamaño de Partícula en las Emulsiones	17
3.1.2 Los Emulsificantes	18
3.1.3 Estabilidad de las Emulsiones	20

3.2	Las Emulsiones Asfálticas	21
3.2.1	Tipos de Emulsiones asfálticas	23
3.2.2	Rompimiento de las Emulsiones Asfálticas	25
3.2.3	Requisitos de Calidad para Emulsiones Asfálticas	26
3.2.4	Clasificación del Material Pétreo	28
3.2.5	Ventajas de las Emulsiones Asfálticas	29
3.2.6	Recomendaciones para el uso de Emulsions Asfálticas	30
3.2.7	Uso de las Emulsiones Asfálticas	31
3.2.8	Especificaciones de las Emulsiones Asfálticas	32
3.3	Emulsiones de Asfaltos Modificados	34
3.3.1	Fabricación de Emulsiones Asfálticas	35
<b>4</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>37</b>
<b>5</b>	<b>Referencias</b>	<b>39</b>

## Resumen

En este trabajo se pretende hacer una revisión actual sobre las características más importantes que afectan la fabricación de emulsiones asfálticas en agua, debido a las enormes ventajas que tienen las emulsiones asfálticas. Además de no requerirse de la aplicación de calor para aplicar el asfalto en fundido, se logra una mejor adhesión entre el asfalto y el substrato pétreo cuando se usan emulsiones catiónicas. Esto simplifica grandemente el equipo necesario utilizado para la aplicación del asfalto. Adicionalmente, la reparación de carreteras (bacheo) es también simplificada enormemente aún en condiciones climáticas adversas (lluvia, calor, etc.).

## **Abstract**

In this work, the main features related with asphaltic emulsions are reported. An important effort has been devoted to study the main characteristics that control the performance of these emulsions, due mainly to the great advantages this has over the melted asphalt. The fact that the asphaltic emulsion is applied at room temperature, produces an enormous economy in the fabrication and repair of asphaltic roads. Additionally, a better adhesion between the asphalt and the petreous material, which is the substrate for the asphalt, is obtained.

## Resumen Ejecutivo

Las variables que controlan la producción de una emulsión asfáltica. Estas tienen que ser tomadas en cuenta para que la emulsión sea estable y del tamaño de partícula apropiado; adicionalmente, el tipo de agente emulsificante es portante: generalmente se utilizan emulsiones catiónicas en los sistemas asfálticos, lo cual produce una buena adhesión química entre el sistema asfáltico sustrato pétreo. Esto es importante para el buen desempeño del asfalto.

Las emulsiones asfálticas han venido a simplificar significativamente el procedimiento de asfaltado de carreteras, ya que se aplican en frío, lo cual presenta un ahorro considerable, no nada más en la energía requerida para fundir el asfalto, sino en la maquinaria que se requiere para hacer el fundido in situ.

Adicionalmente, en el caso del asfalto caliente, éste no se puede aplicar en condiciones climáticas adversas como lluvia, alta humedad, etc., pero las emulsiones asfálticas no tienen ese problema, ya que el medio en el cual viene el asfalto es precisamente agua. Este es un factor importante, ya que elimina los posibles retrasos en la construcción de carreteras por mal tiempo.

Otra de las razones por las cuales las emulsiones asfálticas están siendo usadas ampliamente en la actualidad, es que mediante el uso de emulsificantes apropiados, se puede controlar ampliamente el tiempo de ruptura de las emulsiones, ya que es posible tener emulsiones de rompimiento rápido, lento e intermedio. Esto permite tener un amplio control en el uso de las emulsiones para IS diferentes tipos de aplicación.

Debido a la importancia que tienen actualmente las emulsiones asfálticas, en este trabajo se pretende hacer una revisión del estado sobre emulsiones asfálticas, haciendo énfasis en las características más importantes que afectan la fabricación de estas emulsiones asfálticas. Se pretende que este estudio permita que en México se comience a producir, en grandes volúmenes, emulsiones asfálticas con rompimiento controlado usando tanto asfalto no modificado, como asfalto modificado con hule.



### 1.1 Antecedentes Generales

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

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

Para aplicaciones que involucran impermeabilizantes y selladores, el sistema asfalto- polímero exhibe niveles intermedios de concentración de modificador: del 7 al 15% para SBS y del 18 al 30% para APP. En estos casos el problema fundamental es controlar la compatibilidad asfalto-polímero para conseguir la morfología requerida del compósito y conservar las propiedades del sistema. Es importante decir que esta morfología no siempre se obtiene de manera uniforme en todo el sistema, debido precisamente a la compatibilidad de las especies, por lo que se hace necesario, en algunas ocasiones, el empleo de un agente de compatibilización que lo normalice.

## **1.2 Planteamiento del Problema**

Como se mencionó anteriormente, una de las líneas importantes de investigación en materiales asfálticos consiste en diseñar un sistema que permita una fácil aplicación del asfalto, sobre todo del asfalto modificado con hule, además de lograr una mejor adhesión entre el asfalto (modificado o no) y el material pétreo que sirve de sustrato para el asfalto. Es en esta línea de investigación en donde se enmarca este trabajo: el estudio de las características importantes para la producción de las emulsiones asfálticas que presenten una fácil aplicación y una mejor adhesión con el material pétreo el cual sirve de sustrato.

Una forma de atacar este problema es mediante el uso de las llamadas emulsiones asfálticas. Este tema de las emulsiones asfálticas ha cobrado mucho interés en los últimos años debido a las ventajas que tiene este tipo de emulsiones para resolver los problemas anteriormente planteados, ya que permite la aplicación de los asfaltos (modificados o no) sobre el sustrato pétreo a bajas temperaturas, con un control amplio en el tiempo de rompimiento de la emulsión.

Las primeras emulsiones asfálticas en salir al mercado fueron aquellas que sólo contenían asfalto puro, o sea asfalto sin modificar con hule. Estas emulsiones presentan ventajas importantes sobre el uso de asfalto puro usado en fundido (en caliente), siendo la principal la baja temperatura de aplicación, ya que se aplican a temperatura ambiente no requiriendo de calor para fundir el asfalto antes de aplicarlo.

## **1.3 Objetivo General**

El objetivo de este trabajo es el estudio de las características importantes para la producción de las emulsiones asfálticas en agua que presenten una fácil aplicación y una mejor adhesión con el material pétreo que sirve de sustrato.

## 2 Fundamentos

### 2.1 Descripción del Asfalto Modificado con Hule

Describiremos brevemente las propiedades tanto del material compuesto asfalto-polímero, como de los materiales constituyentes: el asfalto y el polímero. Esto tiene como propósito el hacer énfasis en los requerimientos que tiene que cumplir la emulsión asfáltica para que el sistema, una vez aplicado, tenga un buen desempeño.

#### 2.1.1 El Asfalto

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

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

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

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

El asfalto es un material anisotrópico, discontinuo e inhomogéneo; este material es considerado como un material coloidal, formado por micelas de tamaños cercanos a la micra (fase asfáltica), las cuales están suspendidas en una fase aceitosa de alta viscosidad (fase malténica).

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

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

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

La modificación del asfalto con hule se lleva a cabo añadiéndole a éste, a una temperatura alta (entre 180 y 200 °C) y con altos esfuerzos de corte, polímeros elastoméricos, o sea del tipo huloso (con una Tg baja). Los polímeros más ampliamente usados para este propósito son los copolímeros de poliestireno-polibutadieno, ya que polímeros con esta morfología permiten formar una red o malla tridimensional en el interior del asfalto para darle a éste buenas propiedades mecánicas. Esta malla de hule llena de asfalto, absorberá gran parte de la energía de deformación que sufre el material al ser sujeto a esfuerzos externos, como cuando se usa en la fabricación de carpetas asfálticas.

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

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

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

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

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

### **2.1.2 El Hule SBR (estireno-butadieno)**

En esta sección describiremos brevemente el tipo más común de hule SBR usado para la modificación de asfalto y que ha dado muy buenos resultados en la fabricación de carpetas asfálticas.

El tipo de polímero más comúnmente usado para la modificación del asfalto es un hule SBS de estireno-butadieno radial de alto peso molecular. Uno de los productores internacionales de este tipo de polímero es Dynasol y corresponde al tipo Solprene 411. Este copolímero es de cadena radial en forma de estrella de cuatro brazos en donde la parte butadiénica se localiza en el centro, mientras que la parte estirénica en el exterior. En este hule el 30 % corresponde a la fase estirénica y el resto a la parte butadiénica. La proporción de tetra-acoplado es mayor del 80 %, siendo el resto tri-acoplado y cadena lineal.

Como es sabido, el primer paso para el diseño de un material polimérico de alta ingeniería es siempre establecer la relación que existe entre la estructura del material y sus propiedades finales. Cómo conseguir una determinada estructura para optimizar el material es el segundo paso. Actualmente muchos de los materiales poliméricos de alta ingeniería son fabricados mediante mezclas de polímeros ya conocidos, los cuales poseen estructuras bien definidas. Sin embargo, en estas mezclas la compatibilidad entre las fases debe de estar bien controlada para producir la morfología deseada. Estas mezclas de polímeros con morfologías controladas son conocidas como compósitos o materiales compuestos

Este tipo de materiales, los materiales compuestos o compósitos, tienen la característica de que uno de los ingredientes entra en pequeña proporción y se le denomina el material modificador, mientras que el otro constituyente es el material que se quiere modificar, y puede formar la fase continua o puede estar formando la fase discreta. Los materiales compuestos pueden estar constituidos por dos o más materiales diferentes, los cuales forman regiones lo suficientemente grandes para ser consideradas como continuas; estas regiones deben de estar fuertemente unidas en sus interfases para que el compósito tenga un buen desempeño.

Los materiales compuestos no son, de ninguna manera nuevos en la naturaleza, ni aún dentro de los materiales sintéticos producidos por el hombre. Muchos materiales naturales y artificiales tienen estas características, entre ellos están: concreto, madera, hueso arcillas porosas, y recientemente los plásticos reforzados (como por ejemplo los HIPS), los polímeros con carga, los compósitos fibrosos, la celulosa, los agregados policristalinos, el asfalto modificado con hule, etc.

## **2.2 El Compósito Asfalto-Hule**

Los materiales asfálticos son ampliamente usados en la fabricación de carreteras y, a pesar de que su tiempo de vida no es grande, son suficientes para fabricar mezclas capaces de resistir la acción conjunta del tráfico y de los agentes ambientales. Sin embargo, en algunos casos en que las mezclas asfálticas están sometidas a condiciones muy drásticas debidas al tráfico, a la orografía del tramo carretero, a severas condiciones climáticas, etc., se deterioran muy rápidamente y aparecen roderas, disgregaciones, fisuras por fatiga, etc.

Debido a esto hay que recurrir al empleo de mezclas asfálticas especiales con mejores características. En algunos casos, como por ejemplo en las deformaciones plásticas, se pueden resolver los problemas utilizando agregados con mejor forma, con granulometría, con mayor rozamiento interno, empleando asfaltos más duros, reduciendo el contenido de asfalto, etc.

Hay que tener en cuenta que generalmente ello va en detrimento de otras propiedades, como pueden ser la flexibilidad y la resistencia a la fatiga. En aquellos casos en que no sea posible corregir el problema cambiando los parámetros de formulación, hay que recurrir al empleo de agentes modificantes los cuales posean mejores propiedades en todo el intervalo de temperaturas de servicio y con una menor susceptibilidad a la temperatura.

En la actualidad existen numerosos aditivos o agentes modificadores que se incorporan a los asfaltos para mejorar alguna de sus propiedades, entre los que destacan:

**Los activantes:** Se emplean para mejorar la adhesividad del asfalto con el material pétreo. Para agregados silíceos o ácidos, en general, se utilizan bases orgánicas o nitrogenadas; si son de tipo calcáreo y el asfalto tiene un valor ácido bajo, se recurre a ácidos grasos.

**Los asfaltos naturales:** Disminuyen la susceptibilidad térmica y aumentan la cohesión del asfalto. Los principales tipos utilizados son el asfalto de Trinidad y la glinsonita.

**Las fibras naturales o sintéticas:** Interaccionan físicamente con el asfalto aumentando fundamentalmente la resistencia a la tracción y flexión. Se han empleado amiato, vinílicas, acrílicas, etc. Se añaden mediante dispositivos de reparto en el momento de puesta en obra y crean una especie de malla que se entrelaza con el asfalto y los agregados.

**Los alquitranes:** Buscan aumentar la adhesividad del asfalto añadiendo alquitrán y disminuir la susceptibilidad térmica y el rápido envejecimiento. Son productos bituminosos semisólidos o líquidos que resultan de la reconstrucción del residuo que se obtiene de la destilación del carbón de la hulla. Dan buenos resultados en tratamientos superficiales y anticarburantes, por su resistencia a los disolventes derivados del petróleo.

**Látex Poliméricos:** Son elastómeros que se comercializan en forma de emulsiones ya sea catiónicos o aniónicos; son fácilmente miscibles con emulsiones de ambos tipos. La mezcla de látex y emulsión produce, al romperse la emulsión, un asfalto-caucho. Se han empleado con éxito en la fabricación de mezclas asfálticas densas o drenantes, lechadas asfálticas, tratamientos superficiales y riegos de taponamiento.



Los materiales poliméricos: Mejoran las propiedades mecánicas y reológicas, disminuyen la susceptibilidad térmica y los tiempos de aplicación de carga, aumentan la resistencia a la deformación permanente y a la rotura en un campo más amplio de temperaturas, tensiones y tiempos de carga, mejoran la adhesividad de los agregados. Los tipos utilizados son los termo-fijos (resinas epóxicas, poliuretanos, poliésteres) y los termoplásticos como el cloruro de polivinilo (PVC), polietileno y poli-isobutilenos, SBR (hule estireno- butadieno), EVA (etileno-acetato de vinilo) y SBS (estireno-butadieno-estireno), hule natural y artificial. Estos también pueden utilizarse en combinaciones especiales que tienen la característica de ser tratamientos muy específicos y costosos: alquitrán- vinilo, alquitrán-epoxi, asfalto-epoxi y alquitrán-poliuretano.

Los resultados de algunas investigaciones industriales en este tipo de compuesto, indican que los polímeros más compatibles con asfaltos son aquellos con parámetros de solubilidad en el rango de 7.6 a 8.6. Polímeros típicos que se encuentran en los valores antes indicados son los polibutadienos lineales, los poliisoprenos, los copolímeros de butadieno y estireno lineales y ramificados y el hule natural. Polímeros con parámetros de solubilidad cerca de 7.6 se disuelven en caliente en asfaltos con alto contenido de parafinas (saturados). Polímeros con parámetros cerca de 8.6 requieren altos contenidos de aceites aromáticos.

La modificación del asfalto con polímeros lineales produce altas viscosidades aún a altas temperaturas, pero es más difícil de que se produzcan estructuras reticuladas, que son las más apropiadas para darle al asfalto un buen módulo elástico y una buena recuperación elástica. Polímeros entrecruzados o vulcanizados químicamente (geles químicos), modificarían la viscosidad y las propiedades elásticas y cohesivas, pero serían prácticamente imposibles de disolver.

Algunos plásticos y hules de desperdicio también se han usado para modificar asfaltos, pero más bien han servido como cargas, no tanto como generadores de la adecuada morfología requerida para que el compuesto tenga un buen desempeño. Sin embargo, es posible que en un futuro cercano sea posible usar hule de llanta (ya reticulado) para conferirle al asfalto buenas propiedades mecánicas. Esto reduciría considerablemente los costos ya que el hule de llanta es un material de desecho que produce bastante contaminación. En este caso, además de mejorar significativamente al asfalto, habría una ganancia ecológica al re-utilizar las llantas ya usadas.

Es sabido que los copolímeros en bloque de polibutadieno-poliestireno, son probablemente, los materiales que mejor actúan como agentes modificantes del asfalto. Los copolímeros en bloque poseen los requerimientos estructurales óptimos para modificar efectivamente al asfalto; la característica primordial que deben poseer es que faciliten la formación de estructuras reticuladas o redes, las cuales son requeridas para el buen desempeño del compósito. Debido a esto, los termoplásticos elastoméricos radiales son los que actualmente funcionan mejor como modificadores del asfalto, y dentro de estos están los copolímeros de butadieno y estireno radial, que tienen una adecuada compatibilidad con el asfalto. Sin embargo, el problema con los copolímeros radiales (como el 411 producido por Dynasol) es su alto costo.

### 2.3 Ventajas del Sistema Asfalto-Hule para Carpetas Asfálticas

En esta sección analizaremos brevemente cuáles son las principales ventajas que se obtienen cuando se modifica el asfalto con hule del tipo SBS.

Cuando un material asfáltico es modificado con hule SBS:

- 1) Se mejora su **recuperación elástica** cuando es sujeto a altas cargas y cargas lentas.
- 2) Aumenta su resistencia a **deformaciones permanentes** debidas a altas temperaturas, altas cargas y cargas lentas.
- 3) Se mejora la resistencia a la **fractura permanente** ocasionada por bajas temperaturas y/o por cambios bruscos en las cargas aplicadas, ya que una falta de flexibilidad da lugar a las fracturas permanentes.
- 4) Mejora considerablemente su **resistencia a la fatiga**.
- 5) Mejora su **desempeño**.
- 6) No se **reblandece** a altas temperaturas.
- 7) No se **fractura** a bajas temperaturas.
- 8) Proporciona **mayor seguridad** en las autopistas.
- 9) Reduce la formación de **roderas**.
- 10) Reduce significativamente los costos de **mantenimiento**.
- 11) Reduce el **ruido** haciendo las autopistas **más silenciosas**.

Las **deformaciones permanentes** generalmente se presentan en:

- zonas de clima cálidos
- zonas de tránsito pesado
- zonas de estacionamiento (bajas frecuencias)

Las **fracturas permanentes** generalmente se presentan en:

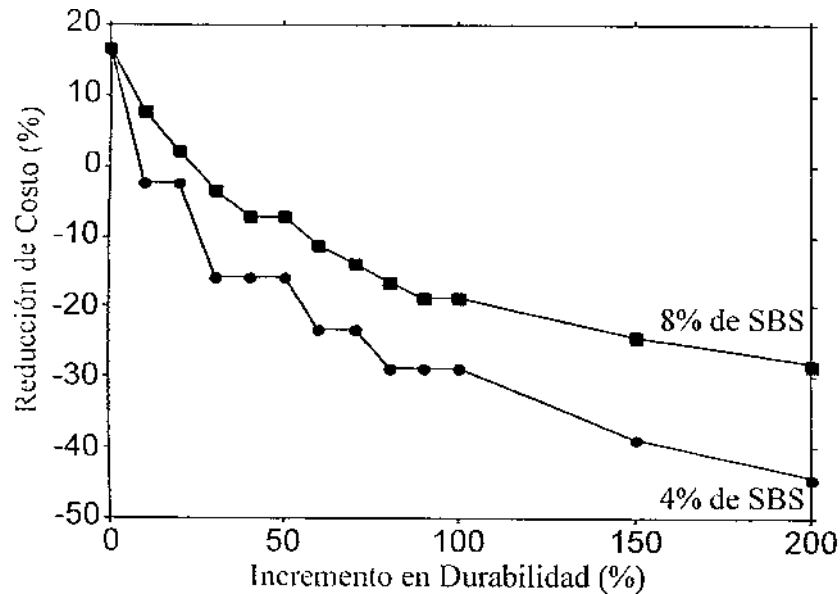
- zonas de climas gélidos
- zonas con cargas aplicadas rápidamente (altas frecuencias)

Una pregunta que hay que hacerse es ¿cuándo es conveniente modificar el asfalto con hule?. La respuesta está en el tipo de aplicación específica del asfalto, del dinero disponible y del tiempo en el que la inversión quiere ser recuperada. Podemos decir que es conveniente modificar asfalto con hule

- cuando el tiempo de recuperación de la inversión es importante
- cuando se requiere de carreteras de altas especificaciones
- cuando se requiere de carreteras de alto desempeño
- cuando se requiere reducir el gasto de mantenimiento
- cuando existen temperaturas extremas
- cuando existen condiciones de tráfico intenso

Entre las causas principales del deterioro de las carpetas asfálticas están:

- el Clima
- la Carga
- el Envejecimiento



**Figura 1**

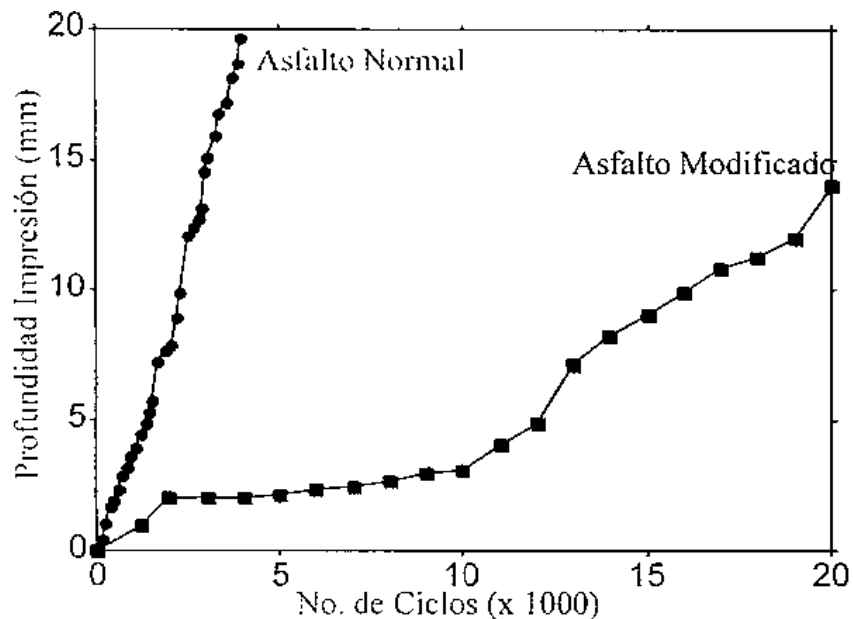
**Reducción de costos y su relación con durabilidad en la Autopista Cuernavaca - Acapulco**

En la Figura 1 es posible observar cómo se reducen los costos de mantenimiento de la autopista por kilómetro como función del incremento en la durabilidad, para un asfalto normal y para uno modificado con 4% y 8% de polímero SBS.

Cuando el asfalto no es modificado, a los 4,000 ciclos la profundidad de la huella dejada por la rueda es ya de 20 mm, mientras que para este mismo número de ciclos, la huella dejada en el asfalto modificado es de sólo 2 mm, o sea, hay un factor de 10 en la reducción en la profundidad de la huella de la rueda cuando se modifica el asfalto con hule SBS. Obviamente el asfalto no-modificado no soporta más de los 4,000 ciclos, mientras que el asfalto modificado fue probado hasta los 20,000 ciclos alcanzando, bajo estas condiciones, una profundidad de huella de 14 mm. Estas pruebas fueron realizadas en la autopista Cuernavaca-Acapulco. Esta información fue proporcionada por el Centro de Investigación y Desarrollo (CID) del grupo Industrial de Resistol.

Esta prueba de profundidad de huella o Wheel Track, muestra las grandes ventajas que tiene modificar el asfalto con hule para uso en pavimentos. El asfalto modificado es más resistente a los esfuerzos producidos por los vehículos y al daño ocasionado por el agua y la temperatura. Cuando el asfalto no es modificado con polímero, éste se daña con mayor facilidad y en menor tiempo, sobre todo en clima caliente y/o con tráfico intenso.

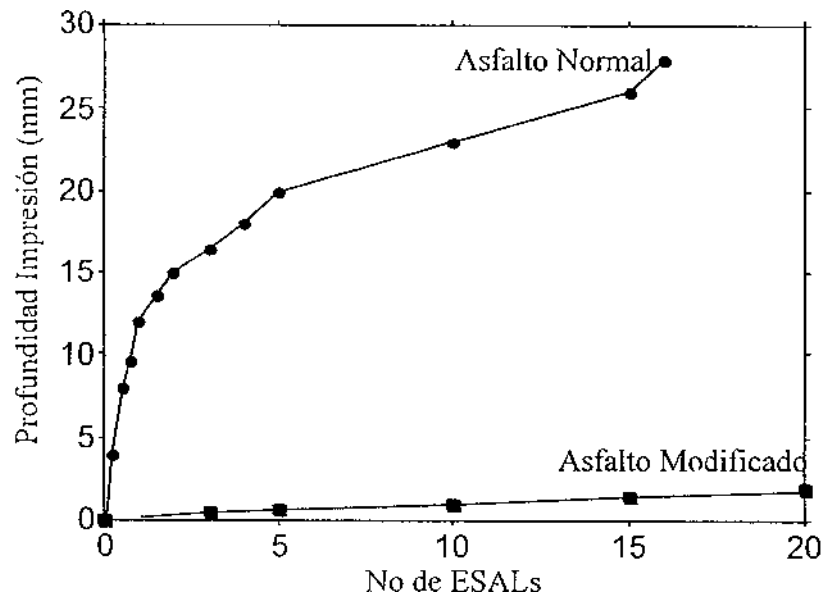
En la Figura 2 es posible observar cómo depende la profundidad en la impresión dejada por la rueda (wheel track) como función del número de ciclos.



**FIGURA 2**

**Profundidad de la huella en función del número de ciclos Autopista Cuernavaca - Acapulco**

En la figura 3 se muestra también una prueba de desgaste para asfalto no modificado y asfalto modificado.

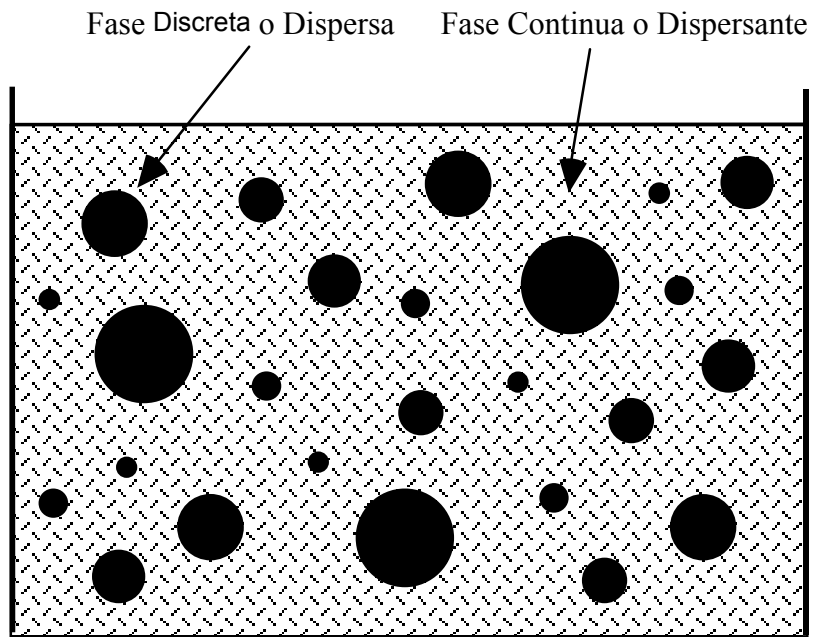


**FIGURA 3**

**Profundidad de la huella en función de los ejes equivalentes (8.2 Ton/eje)**

### 3.1 Las Emulsiones

Podemos definir una emulsión como una dispersión fina más o menos estabilizada de un líquido en otro, los cuales son no miscibles entre sí y están unidos por un emulsificante, emulsionante o emulgente. Las emulsiones son sistemas formados por dos fases parcial o totalmente inmiscibles, en donde una forma la llamada fase continua (o dispersante) y la otra la fase discreta (o dispersa). Esto puede apreciarse en la Figura 4, en donde se muestra un dibujo esquemático de una emulsión.



**FIGURA 4**

**Diagrama esquemático de una emulsión**

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

Existen varios tipos de dispersiones de partículas de diferentes tamaños en diferentes tipos de medios; entre estas dispersiones se encuentran las emulsiones, las cuales son dispersiones de un líquido en otro. En la siguiente Tabla se muestran los diferentes tipos de suspensiones que existen:

**TABLA I**  
**Diferentes Tipos de Suspensiones**

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

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



Las áreas de aplicación de las emulsiones son:

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

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

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

Podemos mencionar que existen dos tipos de emulsiones:

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

Las emulsiones las podemos dividir en:

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

Si el medio es agua, entonces:

- Liofílico = Hidrofílico y Liofóbico = Hidrofóbico.

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

### 3.1.1 Importancia del Tamaño de Partícula en las Emulsiones

La ciencia de las emulsiones requiere un capítulo especial, ya que este tipo de sistemas no está en el dominio microscópico (del orden de 1 Å), ni en el dominio macroscópico (del orden de 100 micras). Ellas se encuentran en un nivel de descripción intermedio llamado mesoscópico.

Cuando subdividimos un trozo de material, el área total de las partes es mayor que el área original. Esto es debido a que, como el volumen va como  $R^3$ , al dividir el radio, por ejemplo a la mitad, el volumen se reduce por un factor de 8 y como la masa es proporcional al volumen, el número de esferas se incrementa por un factor también de 8. Por otro lado, como el área va como  $R^2$ , al dividir el radio a la mitad, el área de cada esfera pequeña se reduce por un factor de 4, pero como el número de partículas se incrementa por un factor de 8, entonces hay un aumento neto del área total por un factor de 2.

Después de efectuar  $n$  subdivisiones, el radio inicial  $R_0$  se reduce a  $\left(\frac{1}{2}\right)^n R_0$ , mientras que el número de esferas se incrementa a  $8^n N_0$ , el volumen de cada partícula pequeña es  $\left(\frac{1}{8}\right)^n V_0$ , el área de cada partícula pequeña es  $\left(\frac{1}{4}\right)^n A_0$  y por lo tanto al área total sufre un incremento neto a  $2^n A_{total}$ .

El área específica de una partícula se define como el cociente entre el área superficial de la partícula y su masa, i.e.

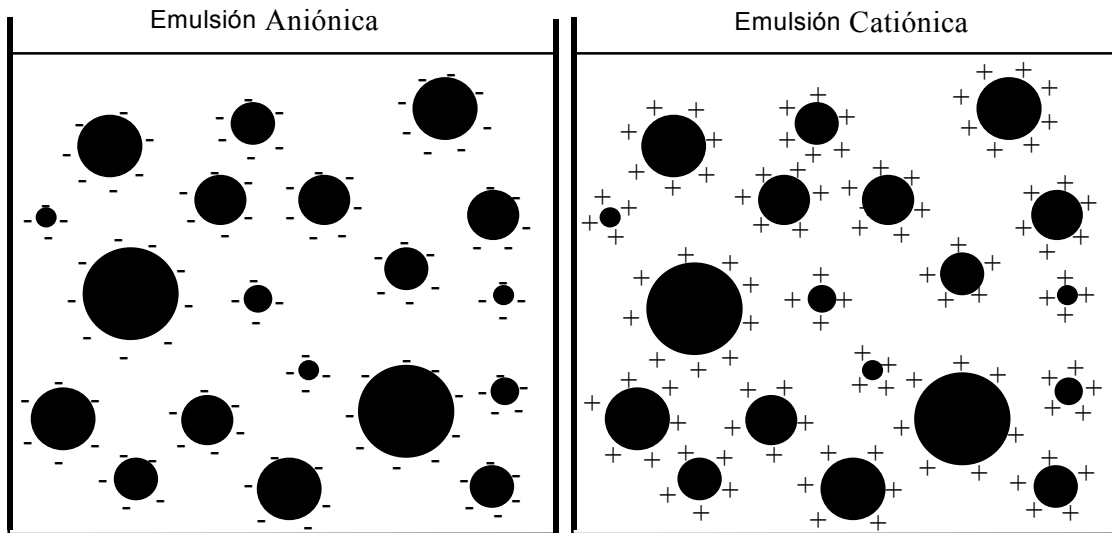
$$A_{sp} = \frac{A_{total}}{m_{total}} = \frac{n 4\pi R^2}{\rho n \frac{4}{3} \pi R^3} = \frac{3}{\rho R}$$

siendo  $\rho$  la densidad de la partícula; por lo tanto, el área juega un papel cuya importancia aumenta conforme disminuye  $R$ .

### 3.1.2 Los Emulsificantes

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

Los emulsificantes están compuestos generalmente por un radical alquilo R el cual es hidrofóbico y un componente hidrofílico, que se encuentran saponificados y con el contacto con el agua se disocian, quedando con cargas negativas o positivas según el tipo de emulsificante. En la figura 5 se muestra una representación pictórica de la emulsión aniónica y la catiónica.

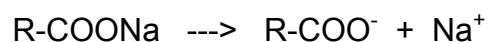


**FIGURA 5**

**Representación esquemática de una emulsión aniónica y de una catiónica**

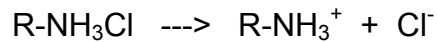
El tipo de emulsificante define el tipo de emulsión: los emulsificantes aniónicos, tienen grupos ácidos en su parte hidrofílica, con carga eléctrica negativa; éstos tienen como fórmula general: R-COONa.

Cuando este tipo de emulsificantes se encuentra en un medio acuoso se disocia resultando:



y el grupo carboxilato  $\text{COO}^-$  se va a la parte hidrofílica, mientras que el radical alquilo R se queda en la parte hidrofóbica.

Los emulsificantes catiónicos son generalmente grupos aminos con carga eléctrica positiva y con fórmula general R-NH<sub>3</sub>Cl. Cuando este tipo de emulsificantes actúa en un medio acuoso se disocia resultando:



y el grupo amino NH<sub>3</sub><sup>+</sup> se va a la parte hidrofílica, mientras que el radical alquilo R se queda en la parte hidrofóbica.

Los emulsificantes son los que, producida la emulsión, se sitúan en su mayor parte en la “interfase”, (figura 2). Su parte hidrofóbica se dirige hacia el asfalto y su parte polar hacia el agua. Con estos emulsificantes iónicos las partículas adquieren cargas eléctricas del mismo signo, repeliéndose entre ellos y estabilizando al sistema.

### 3.1.3 Estabilidad de las Emulsiones

Las emulsiones liofílicas, como forman una verdadera solución, son estables indefinidamente. Mientras que las emulsiones liofóbicas, como a ellos les disgusta el solvente, tratan de separarse en dos fases con el fin de reducir la energía libre superficial de Gibbs, volviéndose inestables. Para una emulsión, mientras mayor área superficial tenga la dispersión (i.e. mientras más pequeñas sean las partículas), mayor será la energía libre superficial de Gibbs. Por lo tanto, las emulsiones liofílicas son termodinámicamente estables, mientras que las emulsiones liofóbicas son termodinámicamente inestables.

Debido a que existen diferentes tipos de estabilidad, aquí nos concentraremos en la estabilidad respecto a la separación de fases. Esta inestabilidad significa que las partículas se comienzan a unir formando partículas más grandes llamados agregados. Podemos definir un sistema estable como aquel en que las pequeñas partículas en la emulsión están uniformemente distribuidas en el medio continuo y así permanecen conforme transcurre el tiempo.

Existen 2 procesos diferentes mediante los cuales se agregan las partículas en la emulsión: la floculación o coagulación y la coalescencia.

**Floculación o Coagulación:** Proceso mediante el cual 2 partículas se unen para formar partículas más grandes. En este proceso no se pierde la identidad de las partículas originales. En este caso no hay reducción en el área superficial total, sólo se imposibilitan algunos sitios activos.

**Coalescencia:** Proceso mediante el cual 2 o más partículas se funden para formar una partícula más grande. En este caso, el área superficial total es reducida. En este proceso si se pierde la identidad de las partículas originales.

La estabilización de los sistemas coloidales se puede lograr fundamentalmente por dos mecanismos diferentes:

**Estabilización por Carga Eléctrica:** Esta se obtiene colocando una carga eléctrica neta en la superficie de las partículas y por pura repulsión electrostática se estabiliza la dispersión.

**Estabilización Estérica:** Esta se obtiene absorbiendo moléculas de polímero en la superficie de las partículas, ya que cuando dos partículas con polímero colocadas en su superficie se aproximan una a otra, éstas se repelen mutuamente debido a un aumento en la concentración de monómero en la región de traslape; este aumento en la concentración produce una presión osmótica que hace que se separen las cadenas poliméricas.

### **3.2 Las Emulsiones Asfálticas**

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

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

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

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

Las emulsiones asfálticas se comenzaron a utilizar en México de 1930 a 1935 para la construcción de caminos. El gran inconveniente que tuvieron fue el largo tiempo de rompimiento de la emulsión, que en la época de lluvias causaba muchos retrasos y graves problemas de construcción. Por este motivo, los asfaltos rebajados ganaron la preferencia del constructor y hasta la fecha, no han podido ser desplazados totalmente.

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

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

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

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

rebajados; esto provocó un incremento en el uso mundial de las emulsiones asfálticas.

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

### **3.2.1 Tipos de Emulsiones Asfálticas**

Las emulsiones asfálticas pueden ser clasificadas de acuerdo al tipo de emulgente usado. En este caso podemos hablar de dos tipos, aniónicas y catiónicas:

**Emulsiones Aniónicas:**

En este tipo de emulsiones el agente emulsificante le confiere una polaridad negativa a los glóbulos, o sea que éstos adquieren una carga negativa.

**Emulsiones Catiónicas:**

En este tipo de emulsiones el agente emulsificante le confiere una polaridad positiva a los glóbulos, o sea que éstos adquieren una carga positiva.

Respecto a la estabilidad de las emulsiones asfálticas, éstas se pueden clasificar en los siguientes tipos:

**De Rompimiento Rápido:**

Estas se utilizan para riegos de liga y carpetas por el sistema de riegos (con excepción de la emulsión conocida como ECR-60), la cual no se debe utilizar en la elaboración de estas últimas.

**De Rompimiento Medio:**

Estas normalmente se emplean para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta, especialmente cuando el contenido de finos es menor o igual al 2%, así como en trabajos de conservación tales como bacheos, renivelaciones y sobrecarpetas.

**De Rompimiento Lento:**

Estas se emplean para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta y para estabilizaciones asfálticas.

Para Impregnación:

Estas se utilizan para impregnaciones de sub-bases y/o bases hidráulicas.

Super Estables:

Estas se emplean en la estabilización de materiales y en la recuperación de pavimentos.

Según el contenido de asfalto en la emulsión, su tipo y polaridad, las emulsiones asfálticas se clasifican como se muestra en la Tabla II

**TABLA II**  
**Clasificación de las Emulsiones Asfálticas**

<b>Clasificación</b>	<b>Contenido de Asfalto (% en masa)</b>	<b>Tipo de Rompimiento</b>	<b>Polaridad</b>
EAR-55	55	Rápido	Aniónica
EAR-60	60	Rápido	Aniónica
EAM-60	60	Medio	Aniónica
EAM-65	65	Medio	Aniónica
EAL-55	55	Lento	Aniónica
EAL-60	60	Lento	Aniónica
EAI-60	60	Para Impregnación	Aniónica
ECR-60	60	Rápido	Catiónica
ECR-65	65	Rápido	Catiónica
ECR-70	70	Rápido	Catiónica
ECM-65	65	Medio	Catiónica
ECL-65	65	Lento	Catiónica
ECI-60	60	Para Impregnación	Catiónica
ECS-60	60	Sobre-Estabilizada	Catiónica



### 3.2.2 Rompimiento de las Emulsiones Asfálticas

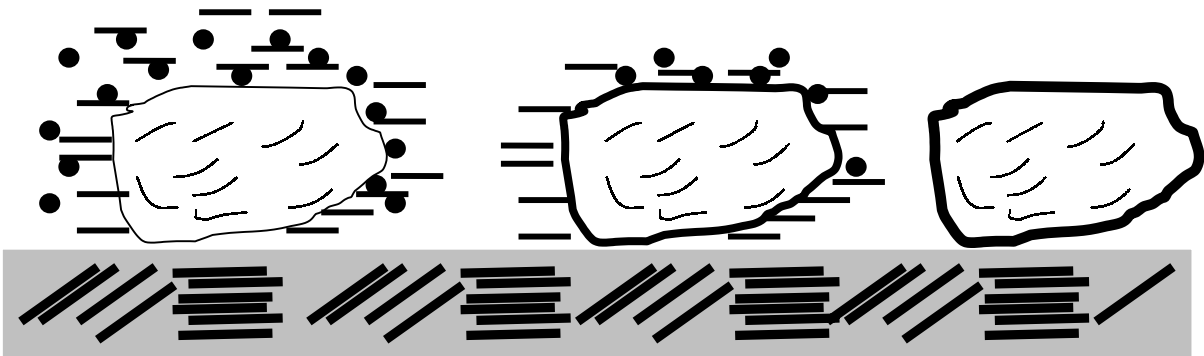
Cuando uno usa emulsiones asfálticas, es necesario tener control sobre la estabilidad de la emulsión, o sea, se tiene que poder controlar el rompimiento de la misma. Pasado un tiempo determinado, el cual depende de la situación en particular que se esté trabajando, las emulsiones tienen que desestabilizarse para que el asfalto se deposite como una capa sobre el material pétreo.

Este fenómeno de rompimiento o ruptura de la emulsión ocurre debido a la carga eléctrica que tiene el material pétreo. La carga que tiene el material pétreo neutraliza la carga de las partículas de asfalto en la emulsión, permitiendo que se acerquen unas a otras para formar agregados de gran tamaño; estos agregados son los que se depositan sobre el material pétreo formando una capa asfáltica.

Durante este proceso el agua es eliminada del sistema asfalto-pétreo. En el proceso de desestabilización, la emulsión como va perdiendo agua, pasa por una emulsión inversa en donde el asfalto forma la fase continua y el agua la fase discreta, o sea que se forman pequeñas gotas de agua en el interior del asfalto, las cuales posteriormente, cuando se deposita la capa de asfalto, son eliminadas.

En general, los factores que influyen en la ruptura de la emulsión aniónica son la evaporación de la fase acuosa, la difusión del agua de la emulsión y la absorción superficial de una parte del emulsificante en el material pétreo. La ruptura de la emulsión catiónica se produce por la absorción de la parte polar del emulgente por los agregados, provocando la ruptura de la emulsión y haciendo que las partículas del asfalto se adhieran inmediatamente a las partículas del material pétreo, aun en presencia de humedad. En la figura 6 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.

La forma de rompimiento de las emulsiones asfálticas catiónicas, en la mayoría de los casos, mejora la adherencia y permite una mejor distribución de la mezcla dentro de la masa del agregado pétreo; adicionalmente permite proseguir los trabajos de asfaltado en regiones con climas húmedos o durante una temporada de lluvias, garantizando la apertura de caminos al tránsito en un corto período de tiempo.



**FIGURA 6**

**Ruptura de una Emulsión Asfáltica sobre un Material Pétreo**

**3.2.3 Requisitos de Calidad para Emulsiones Asfálticas**

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

Las emulsiones asfálticas aniónicas, según su clasificación, deben de cumplir con todos los requisitos establecidos en la Tabla III.

## TABLA III

### Requisitos de Calidad para Emulsiones Asfálticas Aniónicas

<b>Características</b>	<b>EAR-55</b>	<b>EAR-60</b>	<b>EAM-60</b>	<b>EAM-65</b>	<b>EAL-55</b>	<b>EAL-60</b>	<b>EAI-60</b>
Contenido Asfalto	55	60	60	65	55	60	60
Viscosidad S-F (25C)	5	--	--	--	20	20	5
Viscosidad S-F (50C)	--	40	50	25	--	--	--
Asentamiento (5 días)	5	5	5	5	5	5	5
Retenido en Malla 20	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Pasa 20 Retiene 60	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Cubre Agregado Seco	--	--	90	90	90	90	--
Cubre Agregado Húmedo	--	--	75	75	75	75	--
Miscible Cemento Portland	--	--	--	--	2	2	--
Carga de las Partículas	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Demulsibilidad	60 min	50 min	30 max	30 max	--	--	--

Las emulsiones asfálticas catiónicas, según su clasificación, deben de cumplir con todos los requisitos establecidos en la Tabla IV

## TABLA IV

### Requisitos de Calidad para Emulsiones Asfálticas Catiónicas

<b>Características</b>	<b>EAR-60</b>	<b>EAR-65</b>	<b>EAM-70</b>	<b>EAM-65</b>	<b>EAL-65</b>	<b>EAL-45</b>	<b>EAI-60</b>
Contenido Asfalto	60	65	68	65	65	60	60
Viscosidad S-F (25C)	--	--	--	--	25	5	25
Viscosidad S-F (50C)	5	40	50	25	--	--	--
Asentamiento (5 días)	5	5	5	5	5	10	5
Retenido en Malla 20	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Pasa 20 Retiene 60	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Cubre Agregado Seco	--	--	--	90	90	--	90
Cubre Agregado Húmedo	--	--	--	75	75	--	75
Carga de las Partículas	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
Disolvente (vol.)	--	3	3	5	--	15	--
Indice de Ruptura	< 100	< 100	< 100	80-140	> 120	--	> 120

#### 3.2.4 Clasificación del Material Pétreo

Debido a que el rompimiento de la emulsión asfáltica se lleva a cabo por la interacción química de ésta con el material pétreo, es necesario conocer el tipo de material pétreo que se tiene, para determinar el tipo de emulsión asfáltica más apropiada.

La clasificación de las rocas tiene en cuenta la proporción en sílice que contienen: ácidas, son las que tienen más del 66 por ciento de dióxido de silicio ( $\text{Si O}_2$ ); intermedias, las que contienen entre 52 y 66 por ciento del mismo mineral y básicas, las que contienen menos del 52 por ciento. En la tabla V se muestran rocas representativas de estos grupos [1].

**TABLA V**  
**Clasificación del Material Pétreo por su Contenido de Sílice**

<b>ROCAS ACIDAS</b>	<b>ROCAS INTERMEDIAS</b>	<b>ROCAS BASICAS</b>
Granitos Granodiorita Granito pórvido Riolita Diacita	Sienita Traquita Traquiandesita Diorita Andesita Fonolita	Gabro Basalto Peridotita Piroxenita Diabasa Dolerita

Durante muchos años se tuvo la idea que los materiales silíceos ácidos tenían cargas eléctricas negativas y que los materiales silíceos básicos o alcalinos, cargas positivas. Sin embargo, en trabajos de investigación recientes, ha quedado establecido que todos los agregados pétreos tienen cargas eléctricas negativas, incluyendo granitos, calizas, dolomitas, areniscas, basalto y cuarzo.

Por las características de las emulsiones catiónicas ya mencionadas, se prefieren éstas para la realización de trabajos en ingeniería, con todas las ventajas que las mismas presentan sobre los asfaltos rebajados y mezclas asfálticas en caliente.

### **3.2.5 Ventajas de las Emulsiones Asfálticas**

En esta sección veremos qué ventajas tienen las emulsiones asfálticas sobre los asfaltos rebajados y las mezclas asfálticas en fundido (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, debido entre otras cosas a la igualdad de las densidades de sus componentes.
- 4) Tiene una gran adhesión con cualquier agregado pétreo, a pesar de condiciones de humedad adversas debido a la enorme dispersión de las partículas de asfalto de tamaño muy pequeño y al uso de agentes emulsificantes de tipo catiónico.
- 5) Se aplica en un lapso muy corto de tiempo, lo que permite la pronta funcionalidad de la obra en que se esté 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 de su desperdicio, ya que es recuperable.

### **3.2.6 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 mínimos y en ascenso y nunca debe de hacerse cuando baje la temperatura 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.

### **3.2.7 Usos de las Emulsiones Catiónicas**

El asfalto es un importante material termoplástico que es ampliamente usado en la construcción y sus usos se hacen extensivos a las emulsiones asfálticas catiónicas, entre los que destacan:

- 1 Usos generales.
- 2 Juntas para pavimentos hidráulicos.
- 3 Adhesivos.
- 4 Selladores.
- 5 Impermeabilizantes.
- 6 Recubrimiento de tubería especial.
- 7 Para tratamientos superficiales, para pavimentos asfálticos, en carreteras y aeropistas:
  - Riegos de impregnación.
  - Riegos de imprimación o penetración.
  - Riegos negros con emulsión diluida.
  - Riegos de liga.

- Riegos de sello con arena o gravilla seleccionada.
- 8 Morteros asfálticos o slurry seal (sólo con emulsiones asfálticas).
- 9 Bacheo.
- 10 En la masa o mezcla asfáltica, para carreteras y aeropistas.
- 11 Mezcla cerrada y mezcla abierta.
- 12 Grava - emulsión y arena – emulsión.
- 13 Penetración.
- 14 Impregnación.

### 3.2.8 Especificaciones de las Emulsiones Asfálticas

A continuación se indican algunas especificaciones adicionales de las Emulsiones Asfálticas Catiónicas:

CARACTERISTICAS	NORMA S.C.T. 601.03.011	EMULSION RAPIDA		EMULSION MEDIA		EMULSION LENTA	
		RR-C1	RRC2	RM-C1	RM-C2	RL-C1	RL-C2
Viscosidad Saybolt Furol A 25°C en seg. A 50°C en seg.	011-G.11	>20	>80 >20	>20	>20	>20	>20
Viscosidad Brookfield A 25° C en CP A 50°C en CP	ASTM D- 4402	>40	>160 >40	>40	>40	>40	>40
Determinación del Residuo asfáltico: Destilación % Mínimo Evaporación % Mín.	011-G.09 011-G.10	60 60	63 63	60 60	63 63	63 63	60 60
Sedimentación en Almacén en 24 hrs. % Máximo a 25° C NOTA 1	ASTM D-244	2.0	1.0	3.0	3.0	3.0	2.0
Retenido en malla 0.85 mm. % máximo	011-G.13	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Carga eléctrica de la Partícula	011-G.03	P O S I T I V A					
Tiempo que tarda en Descargar la partícula en Minutos a 50° C	AMFE	<2	<2	>12	>12	>25	NOTA 2
Carga activa de la Partícula NOTA 3	AMFE	Obscura	Obscura	café	café	beish	Sin color
Miscibilidad en agua	ASTM D-244	Negativa	Negativa	P O S I T I V A			
Determinación del Potencial de hidrógeno (Ph) máximo	011-F.04	<4	<4	<4	<4	<4	<4



## Especificaciones del Residuo Asfáltico

CARACTERISTICAS	NORMA S.C.T. 601.03.011	EMULSION RAPIDA		EMULSION MEDIA		EMULSION LENTA	
		RR-C1	RRC2	RM-C1	RM-C2	RL-C1	RL-C2
Viscosidad Brookfield 135°C	ASTM D- 4402	300	300	300	300	300	300
Penetración 25°C; 100 gr; 5 seg. (AC-20) mínima	011-C.04	60	60	60	60	60	60
Ductilidad mínima. Cm	011-C.05	50	50	50	50	50	50

## Especificaciones para Asfaltos Modificados con Polímeros

En los últimos años se han desarrollado nuevas pruebas de calidad para asfaltos, que toman en consideración aspectos más apegados al trabajo de campo con los mismos y a los nuevos tipos de asfaltos que se están usando actualmente, los asfaltos modificados con polímeros, mediante un programa implementado en Estados Unidos de América, SHRP (Strategic Highway Research Program), que ya han sido aceptadas e incluidas dentro de las Normas de la AASHTO y la ASTM, que se relacionan enseguida.

PRUEBA	DETERMINA	NORMA	
Viscosidad Rotacional R Brookfield	Viscosidad a altas temperaturas	ASTM D-4402	
Reómetro de corte dinámico DSR	G* y $\delta$ a altas y medias temperaturas	SHRP B-003	AASHTO TP-5
Envejecimiento en película delgada rolada RTFOT	Envejecimiento a corto plazo	ASTM D-2872	AASHTO T-240
Envejecimiento en molde de presión PAV	Envejecimiento a largo plazo	SHRP B-005	AASHTO PP-1
Ensayo de tensión directa DDT	Deformación a la ruptura por tensión a baja temperatura	SHRP B-006	AASHTO TP-7
Reómetro de flexión por viga de apoyos BBR	S (t) y m a baja temperatura	SHRP B-002	AASHTO TP-1

Nota 1 La prueba de sedimentación a 24 hrs. se adoptó por estar especificada en la ASTM pero se ha modificado según el método adjunto.

Nota 2 La prueba de la partícula debe efectuarse en un lapso mínimo de dos minutos con una corriente eléctrica de 100 mil amperes.

Nota 3 La prueba de adherencia activa de la emulsión con el material, será medida sumergiendo partículas del material en emulsión y sometiéndolas inmediatamente a un chorro de agua para lavarlas.

- En el caso de las emulsiones de rompimiento rápido, la película que quede en el material debe ser negra, pareja y con un cierto grosor.
- Las emulsiones de rompimiento medio después del lavado inmediato, deben de tener una película de color café, no gruesa pero visible.
- Las emulsiones lentas (RL-C1) después del lavado inmediato, deben de dejar una película café clara delgada pero apreciable.
- Las emulsiones lentas (RL-C2) después del lavado inmediato, no dejan ningún tipo de huella de asfalto dejando el material totalmente limpio.

SCT: Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

ASTM: American Society of Testing Materials.

SHRP: Strategic Highway Research Program.

AASHTO: American Association of State Highways and Transportation Officials.

### 3.3 Emulsiones de Asfaltos Modificados

El planteamiento de nuevas necesidades, el desarrollo de nuevas técnicas de fabricación o puesta en obra y en definitiva, la mejora y optimización de las técnicas en las emulsiones asfálticas, ha permitido la aparición de nuevos tipos de emulsiones, entre las que podemos enumerar: emulsiones muy viscosas, de alta flotación, de rompimiento controlado por aditivos, emulsiones modificadas y emulsiones de asfaltos modificados.

Actualmente se utiliza una gran variedad de polímeros comerciales con composición química y propiedades diferentes, para *emulsiones de asfaltos modificados*. Entre los empleados de forma más generalizada tenemos los elastómeros termoplásticos de estireno-butadieno-estireno (SBS) y de estireno-butadieno (SBR), y los copolímeros de estireno acetato de vinilo (EVA).

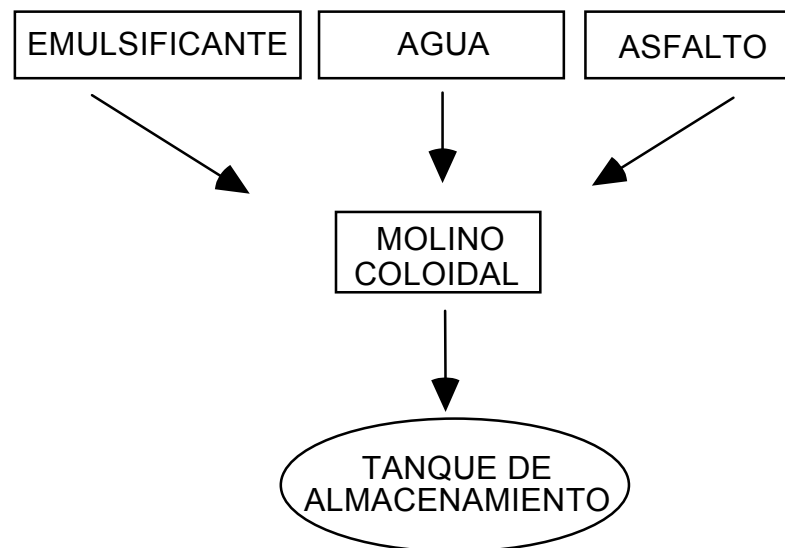
Actualmente existen en el mercado un gran número de asfaltos modificados con polímeros, que en general utilizan un emulgente catiónico para lograr la unión y estabilidad del cemento asfáltico, el polímero y el agua, constituyendo una emulsión asfáltica catiónica con polímeros.

Los fabricantes de los productos mencionados, los promocionan al público, mostrando su calidad en comparación con los empleados tradicionalmente, en los usos de la ingeniería civil, por medio de resultados de pruebas de laboratorio, las cuales están especificadas en Normas establecidas por organismos reconocidos a nivel internacional y nacional, tales como: A.S.T.M., AASHTO, SHRP., S.C.T. y NOM.

Los asfaltos modificados que podemos adquirir en México, tienen la característica de que son provenientes del extranjero, por lo que resultan muy costosos, ya que en su precio están incluidos los derechos de patente y de importación. Por esta razón, su uso en obras de gran envergadura muchas veces se omite, a pesar de las ventajas que presenta.

### 3.3.1 Fabricación de Emulsiones Asfálticas

El equipo y producción para la fabricación de emulsiones es muy simple y fácil de conseguir en el mercado. El problema está en la formulación de las emulsiones que deben adaptarse a los materiales pétreos. Los requerimientos para la fabricación de las emulsiones asfálticas son sencillos, como se muestra en la Figura 7.



**FIGURA 7**

**Esquema para la Fabricación de la Emulsión Asfáltica**

## **4 Conclusiones**

En el presente trabajo se hace una revisión del tema de las emulsiones asfálticas, haciendo énfasis en la importancia que éstas tienen en la moderna tecnología del proceso de asfaltado de carreteras. Aquí se muestra la importancia de este tema desde un punto de vista tecnológico, resaltando las variables importantes en la fabricación de las emulsiones asfálticas. Estas tienen un sinnúmero de ventajas sobre el asfalto caliente o el rebajado, por lo que es importante extender el empleo de este tipo de tecnología en México debido a la magnitud de su red carretera.

La utilización de esta tecnología no únicamente proporciona un ahorro en el proceso de asfaltado de las carreteras, sino que también mejora la adhesión del asfalto con el material pétreo, con un consecuente incremento en el tiempo de vida de la carpeta asfáltica y una mayor seguridad para el usuario de las mismas.

## 5 Referencias

- 1 X. Lu and U. Isacsson, "Characterization of Styrene-Butadiene-Styrene Polymer Modified Bitumens-Comparison of Conventional Methods and Dynamical Mechanical Analysis", *Journal of Testing and Evaluation*, JTEVA, **25** (4), 383-390 (1997)
- 2 Bouldin, M. and Collins, A.; "Rheology and Micro-Structure of Polymer Asphalt Blends", Shell Development Co., Presented at the Meeting of Rubber Division, ACS, Las Vegas (1990)
- 3 Krauss, G.; "Modification of Asphalt Block Polymer of Butadiene and Styrene", *Rubber Chem. Tech.*, **55**, 1389 (1982)
- 4 Hull, D., "An Introduction of Composite Materials", Cambridge University Press, (1981)
- 5 G. Hernández, R. Rodríguez, R. Blanco and V.M. Castaño, "Mechanical Properties of the Composite Asphalt-Styrene-Butadiene Copolymer at High Degree of Modification", *Intern. J. Polymeric. Mater.* **35**, 129-144 (1997)
- 6 "Kraton Thermoplastic Rubber in Asphalt Products", Technical Bulletin, Shell Chemical Co. (1987)
- 7 R. Blanco, R. Rodríguez, M. García-Garduño and V. Castaño, "Rheological Properties of Styrene-Butadiene Copolymer Reinforced Asphalt", *J. Appl. Polym. Sci.* **61**, 1493-1501 (1996)
- 8 "Finaprene Rubber for Bitumen Modification", Technical Bulletin, Fina Corporation
- 9 "Use of Finaprene Block Copolymers to Modify Asphalt from Different Crude Sources", Technical Bulletin, Fina Corp. (1987)
- 10 R. Blanco, R. Rodríguez, M. García-Garduño V. Castaño, "Morphology and Tensile Properties of the Composite Asphalt-Butadiene-Styrene Copolymer", *J. Appl. Polym. Sci.* **56**, 57-64 (1995)

- 11 "Emulsiones Asfálticas". Gustavo Rivera Escalante. Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A. México. Tercera Edición 1987
- 12 "Innovaciones en Emulsiones Asfálticas". Julián Sanz Liébana. XI Reunión Nacional de Vías Terrestres. Morelia, Michoacán. 1994.
- 13 "Determination of Electro Kinetic Potential and Surface Charge of Highway Aggregates". MC. Glashan y Rule. 1961
- 14 "Determination of Surface Charges of Certain Highways Aggregates by Streaming Potential Methods". W. Cullen Sherwood. 1967
- 15 "The Chemistry of Asphalt Emulsions". J. Dybalski. 1976
- 16 "Emulsiones Asfálticas". Fábrica de Asfaltos Emulsionados de Alto Rendimiento, S.A. de C.V., Gustavo Rivera Escalante. 1er. Congreso Internacional de Vías Terrestres. Chihuahua, Chih. 1987
- 17 "Cationic Asphalt Emulsifiers". Witco Oleo. 1997
- 18 "Disperse Polymers in Asphalt Without Expensive Mixing-Sherex PD-1 from SHEREX". Witco Oleo. 1997
- 19 "Mechanical Properties of the Composite Asphalt-Styrene-Butadiene Copolymer at High Degree of Modification". G. Hernández, R. Rodríguez, R. Blanco and V. M. Castaño. Intern. J. Polymer Mater. 1987, Vol. 35, pp. 129-144
- 20 "Morphology and Tensile Properties of Styrene- Butadiene Copolymer Reinforced Asphalt". R. Blanco, R. Rodríguez, M. García-Garduño and V. M. Castaño. Journal of Applied Polymer Science, Vol. 56, 57-64(1995)
- 21 "Mechanical Properties of Asphalt Modified with Non-Linear Styrene-Butadiene Polymer". G. Hernández, R. Rodríguez, A. del Real, and V. M. Castaño
- 22 "Evaluación de los Asfaltos por el Método SHRP". Rafael Limón Limón. 1er. Congreso Internacional de Vías Terrestres. Chihuahua, Chih. 1987.

- 23 Cold Institute Recycling in New Mexico, USA. R. Gordon Mackeen and Duncan Wright. Alliance for Transportation Research, USA. 1er. Congreso Internacional de Vías Terrestres. Chihuahua, Chih. 1987
- 24 "Modificación de Asfaltos con Polímeros". Juvenal Macías. XI Reunión Nacional de Vías Terrestres. Morelia, Michoacán. 1994
- 25 Norma: M-MMP-4-05-006/00, Libro: "MMP. Métodos de Muestreo y Pruebas de Materiales", Parte: 4. Materiales para Pavimentos", Título: 06. "Materiales, Asfálticos, Aditivos y Mezclas", Capítulo: 001. "Calidad de Materiales Asfálticos", SCT, 15/08/00
- 26 Norma: N-CMT-4-05-001/00, Libro: "CMT. Características de los Materiales", Parte: 4. "Materiales para Pavimentos", Título: 06. "Materiales, Asfálticos, Aditivos y Mezclas", Capítulo: 006. "Penetración en Cementos y Residuos Asfálticos", SCT, 24/04/00



## **CIUDAD DE MEXICO SANFANDILA**

Av. Patriotismo 683  
Col. Mixcoac  
03730, México, D. F.  
Tel (55) 56 15 35 75  
55 98 52 18  
Fax (55) 55 98 64 57

Km. 12+000, Carretera  
Querétaro-Galindo  
76700, Sanfandila, Qro.  
Tel (442) 2 16 97 77  
2 16 96 46  
Fax (442) 2 16 96 71

**Internet: <http://www.imt.mx>  
[publicaciones@imt.mx](mailto:publicaciones@imt.mx)**