



Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

“Emulsiones Asfálticas Aplicadas a Caminos

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniero Civil:

Presenta:

Jaime René Guillén González

Asesor de Tesis:

ING. J. ALEJANDRO PERALTA ARNAUD

Morelia, Mich.

Agosto de 2013

INDICE

1. Introducción-----	4
1.1 Antecedentes Generales-----	4
1.2 Planteamiento del Problema-----	4
1.3 Objetivo General-----	5
2. Fundamentos-----	6
2.1 Descripción del Asfalto Modificado con Hule-----	6
2.1.1 El Asfalto-----	6
2.1.2 El Hule SBR (estireno – butadieno) -----	9
2.2 El Compósito Asfalto – Hule-----	10
2.3 Ventajas del Sistema Asfalto – Hule para Carpetas Asfálticas-----	12
3. Emulsiones Asfálticas-----	16
3.1 Las Emulsiones-----	16
3.1.1 Importancia del Tamaño de Partícula en las Emulsiones-----	18
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-----	22
3.2.2 Rompimiento de las Emulsiones Asfálticas-----	23

3.2.3 Requisitos de Calidad para Emulsiones Asfálticas-----	25
3.2.4 Clasificación del Material Pétreo-----	26
3.2.5 Ventajas de las Emulsiones Asfálticas-----	27
3.2.6 Recomendaciones para el uso de Emulsiones Asfálticas-----	27
3.2.7 Uso de las Emulsiones Asfálticas-----	29
3.2.8 Especificaciones de las Emulsiones Asfálticas-----	29
3.3 Emulsiones de Asfaltos Modificados-----	31
3.3.1 Fabricación de Emulsiones Asfálticas-----	32
3.4 Normas de Construcción de Carreteras-----	33
3.5 Normas para Carpeta Asfáltica de Granulometría Densa-----	41
4. Conclusiones-----	77

1.- Introducción.

1.1 Antecedentes Generales.

En las ultimas 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 estas son cada día mas estrictas. La tecnología en materia asfáltica se ha enfocado al desarrollo de carpetas asfálticas con mayor duración, con menor huella al paso de vehículos, con 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 petreo, mayor facilidad para la reparación de baches, reparación de baja temperatura, etc. Todas estas condiciones impuestas al asfalto (ya sea modificado o no) nos dan como resultado una intensa investigación en este campo desarrollando nuevos materiales asfalticos, así como nuevas formas en las cuales el asfalto modificado puede ser aplicado al substrato petreo.

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 polímetro son relativamente bajos, del 2 al 3% cuando se usa SBS (estireno – butadieno – estireno). El problema que se presenta es que para estos bajos niveles de concentración de polímero puede separarse del asfalto por falta de estabilización. Esta separación surge debido a la diferencia de densidades entre el asfalto y el polímero.

1.2 Planteamiento de Problema.

Como se menciona anteriormente, una de las líneas importantes de investigación en materiales asfalticos consiste en diseñar una 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 petreo que sirve de substrato para el asfalto. Esta línea de investigación 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 petreo, el cual sirve de substrato.

Una forma de atacar este problema es mediante el uso de las llamadas emulsiones asfálticas. Este tema de las emulsiones asfálticas a cobrado mucho interés en los últimos años debido a las ventajas que tiene este tipo de emulsiones para resolver los problemas anteriores planteados, ya que permite la aplicación de los asfaltos (modificados o no) sobre el substrato petreo 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 solo contenían asfalto puro, o sea asfalto sin modificar con hule. Estas emulsiones presentan ventajas importantes sobre el uso del asfalto puro usado en fundido (en caliente) siendo la aplicación la baja de temperatura de aplicación, ya que se aplican a temperatura ambiente no requiriendo 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 presentan una fácil aplicación y una mejor adhesión con el material petreo que sirve de substrato.

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 y durabilidad.

2.1.1 El Asfalto.

Como ya lo mencionamos con anterioridad, 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 el asfalto, 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 lo referente a la construcción de fabricación de carpetas asfálticas en donde sin duda, es el material más importante. El amplio uso del asfalto en la construcción de carpetas 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 los 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 estas 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 material coloidal, formado micelas de tamaños cercanos a la micra (fase asfáltica), las cuales están suspendidas en una fase aceitosa de alta viscosidad (fase malténica).

La microestructura 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 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 viscosa.

El asfalto es muy susceptible a los cambios de temperatura y sufre envejecimiento por intemperismo por largos tiempos de exposición; es también afectado por la oxidación y la foto – degradación. Respecto a sus propiedades mecánicas, estas son muy pobres ya que es quebradizo a bajas temperaturas y fluye a temperaturas un poco arriba de temperaturas 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, diversos estudios han demostrado que la modificación con polímero es preferible si 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 este, a una temperatura alta (entre 180 y 200°C) y con altos esfuerzos de corte, polímeros elastoméricos, o sea del tipo huloso (con una T_g baja). Los polímeros mas ampliamente usados para este propósito son los copolímeros de poliestirenopolibutadieno, ya que polímeros con esta morfología permiten formar una red o malla tridimensional en el interior del asfalto para darle buenas propiedades mecánicas. Esta malla de hule llena de asfalto, absorberá gran parte de la energía de

la deformación que sufre el material al ser sujeto. A esfuerzos externos, como cuando se usa en la fabricación de carpetas asfálticas.

Esta red polémica tridimensional llena de asfalto, parcialmente hinchada por los ligeros de asfalto, proporciona al compuesto una mayor temperatura de servicio y también incrementa el intervalo de los 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 mas 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 de los constituyentes, del proceso de mezclado y de las historia térmicas de los materiales. Para asfaltos usados con polímeros es conveniente que estos tengan bajos contenidos de asfaltenos (fase pesada) y deben poseer suficiente cantidad de aceites aromáticos para disolver el 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 esta formada por uniones físicas (gales – físicos) y otra que involucra una reacción química entre los componentes y por los tanto, la red esta formada por uniones químicas (gales – químicos).

Para que se logre la morfología apropiada, o sea aquella en la cual se tenga una red – tridimensional de polímero rellena de 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 esta interactuado con él. Una de las formas de conocer el grado de compatibilidad entre estos dos materiales es visualizando la microestructura del compuesto; así mismo otra forma de inferir esta compatibilidad es a traves de las respuestas térmicas del sistema (determinado el comportamiento de la T_g) o las viscoelásticas (determinado el comportamiento de $\tan \delta$) del material compuesto.

2.1.2 El Hule SBR (Estireno – Butadieno).

En esta sección describiremos brevemente el tipo mas común de hule SBR usado para la modificación del 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 es Dynasol, corresponde al tipo Solprene411. Este polímero 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 esterínica en el exterior. En este hule el 30% corresponde a la parte 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 polímero de alta ingeniería es siempre establecer la relación que existe entre la estructura del material y sus propiedades finales, como 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 de compatibilidad entre las fases debe de estar bien controlada para producir la morfología deseada. Estas mezclas de polímeros con morfología controladas son conocidas como compósitos o materiales compuestos.

Este tipo de materiales compuestos o compósitos tienen la característica de que uno de los ingredientes entra en pequeña proporción, y se le denomina material modificador, mientras que el otro constituyente es el material que se requiere para 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 interfaces para que el compósito tenga un buen desempeño.

Los materiales compuestos no son de ninguna manera nuevos en la naturaleza, ni aun 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 Hule - Asfalto.

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 drásticas divididas 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 la deformaciones plásticas, se pueden resolver los problemas agregados con una mejor forma, con granulometría, con mayor rozamiento interno, empleando asfaltos mas duros reduciendo en contenido de asfalto, etc.

Hay que tener en cuenta que generalmente ello va en detrimento de otras propiedades, como puede ser la flexibilidad y la resistencia a la fatiga. En aquellos casos en que no se es posible corregir el problema cambiando los parámetros de formulación, hay que recurrir al empleo de agentes modificantes, los cuales poseen mejores propiedades en todo 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 mejoras algunas de sus propiedades, entre los que destacan:

- Los Activantes: se emplean para mejorar la adhesividad del asfalto con el material petreo para agregados silíceos o ácidos en general, se utilizan para bases orgánicas o nitrogenadas, si con del tipo calcáreo y el asfalto tiene valor acido bajo se recurre a ácidos grasos.
- Los Asfaltos Naturales: disminuyen la susceptibilidad térmica y aumentan la cohesión del asfalto. Los principales tipos utilizados con el asfalto trinidad y la glinsonita.
- Las Fibra Naturales o Sintéticas: interacción 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 Alquitrans: 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 huella. 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 catiónicas o aniónicas; son fácilmente miscibles con emulsiones en 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 en los tiempos de aplicación de carga, aumentan la resistencia a la deformación permanente y a la rotura en un campo mas 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 son asfaltos 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 poli-isoprenos, los copolímeros de butadieno y estireno lineales y ramificados y hule natural. Polímeros con parámetros de solubilidad cerca de 7.6 se disuelven en caliente en asfaltos con alto contenido de parafinas (saturados), parámetros cerca de 8.6 requieren altos contenidos de aceites aromáticos.

La modificación del asfalto con polímeros lineales produce altas viscosidades aun a altas temperaturas, pero es mas difícil que se produzcan estructuras reticuladas, que son las mas apropiadas para darle al asfalto un buen modulo elástico y una buena recuperación elástica. Polímeros entrecruzados o vulcanizados químicamente (geles químicos), modificarían la viscosidad y a las propiedades elásticas y cohesivas, pero serian 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 adecuado a 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 el asfalto en buenas propiedades mecánicas.

Esto reducirá considerablemente los costos ya que el hule de llanta es un material de deshecho que reduce bastante contaminación. En este caso además de mejorar significativamente al asfalto habría una ganancia ecológica al reutilizar las llantas 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 el asfalto; la característica primordial que deben poseer es que faciliten la formación de estructuras reticuladas o redes, las cuales son requeridas por el buen desempeño del compósito. Debido a esto los termoplásticos elastoméricos radiales son los que actualmente actúan mejor como modificadores de asfalto, 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 cuales son las principales ventajas que se obtienen cuando se modifica el asfalto con hule SBS:

Cuando el material asfáltico es modificado con hule SBS:

- 1) 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 climas cálidos.
- Zonas de transito 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 esta 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 altos desempeños.
- Cuando se requiere reducir costos al 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.

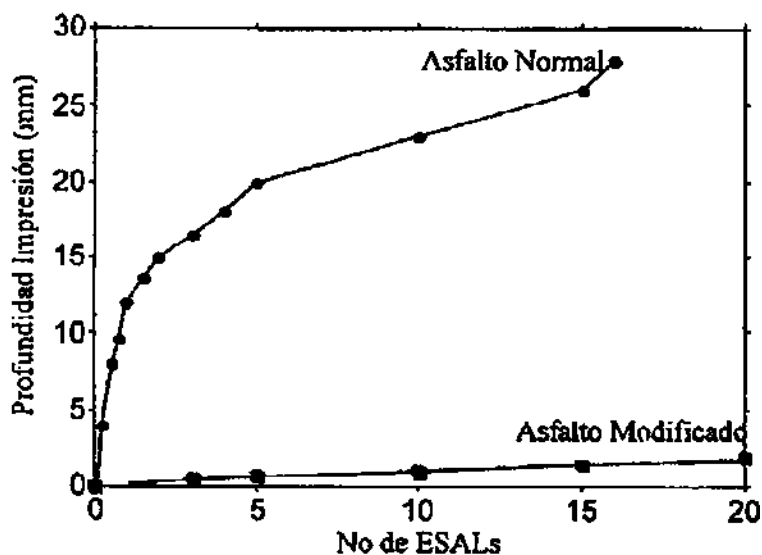


Fig. 1 Reducción de Costos y su Relación con Durabilidad en la Autopista Cuernavaca–Acapulco.

En la fig. 1 es posible observar como se reducen los costos de mantenimiento de la autopista por km 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 de profundidad de la huella dejada por la rueda es ya de 20 mm, mientras que para este mismo numero de ciclos, la huella dejada en el asfalto modificado es de solo 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 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 Resistol.

Esta prueba de profundidad o huella Wheel Track muestra las grandes ventajas que tiene modificar el asfalto con hule para uso de 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, este se daña con mayor facilidad y en menor tiempo, sobre todo en clima caliente y/o trafico intenso.

En la fig. 2 es posible observar como depende la profundidad en la impresión dejada por la rueda (Wheel Track) como función de número de ciclos.

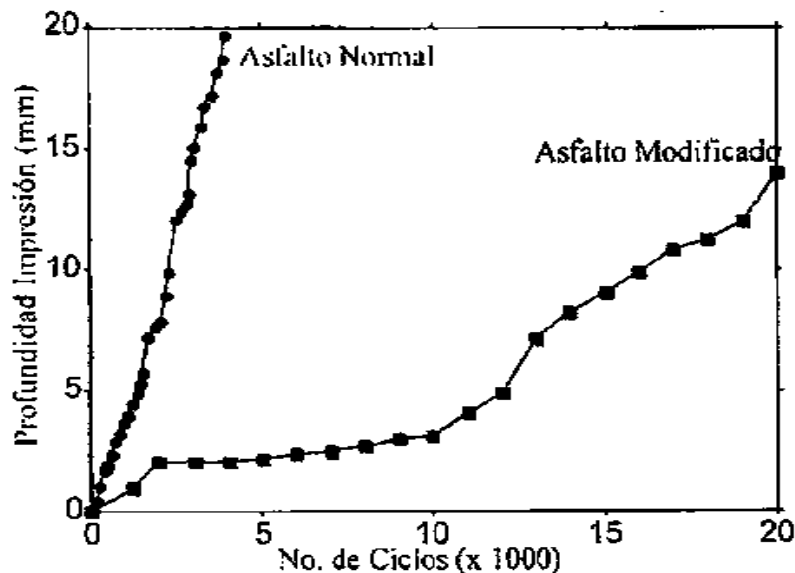


Fig. 2 Profundidad de la Huella en función del número de ciclos Autopista Cuernavaca–Acapulco.

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

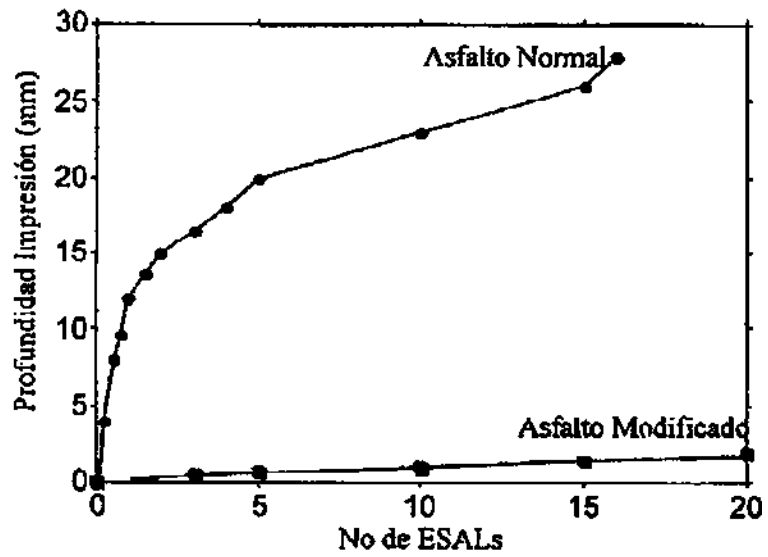


Fig.3 Profundidad de la huella en función de los ejesequivalentes (8.2ton/eje).

3. Emulsiones Asfálticas.

3.1 Las Emulsiones.

Podemos definir a una emulsión como una dispersión fina mas o menos estabilizada de un liquido 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 fase discreta (o dispersa), esto puede apreciarse en la fig. 4 en donde muestra un dibujo esquemático de una emulsión.

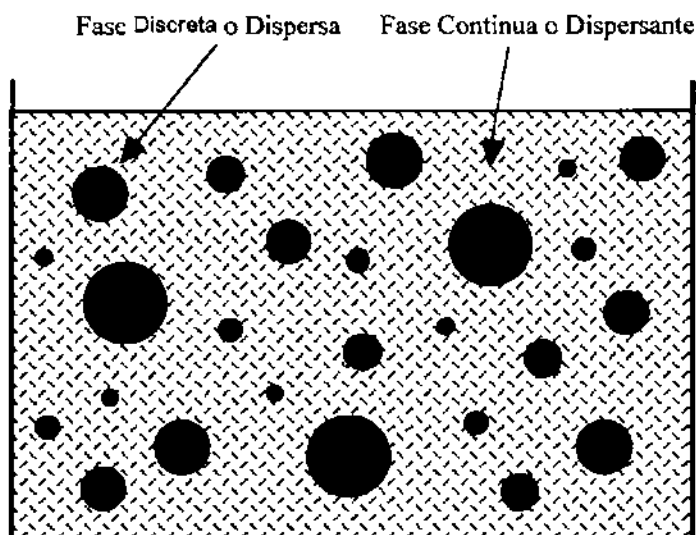


Fig.4 Diagrama Esquemático de una Emulsión.

Generalmente el tamaño de la fase discreta tiene alguna dimensión lineal entre un nanómetro y una micra. Son 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 tipos de medios, entre estas dispersiones se encuentran las emulsiones, las cuales son dispersiones de un líquido en otro. En la siguiente tabla se muestran los diferentes tipos de suspensiones que existen.

Fase Continua	Fase Discreta	Sistema
Gas	Líquido	Aerosoles, Niebla, Rocío
Gas	Sólido	Smoke, Aerosol
Líquido	Gas	Espuma
Líquido	Líquido	Emulsión, Solución Coloidal
Líquido	Sólido	Sol, Solución coloidal, Gel, Suspensión
Sólido	Gas	Espumas Sólidas (Piedra Poma), Zeolitas
Sólido	Líquido	Gel, Emulsión, Gélida
Sólido	Sólido	Aleación

Tabla I. Diferentes Tipos de Suspensiones.

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 mas), 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, electroforesis, tratamiento de aguas, purificación de agua, recuperación de petróleo, etc.
- En Química: fenómenos de absorción, intercambio iónico, cromatografía GPC, nefelometría, osmosis, catálisis, detergentes y jabones, pinturas, adhesivos, tintas, emulsificantes, colorantes, papel, lubricantes, recubrimientos, pigmentos, espesante, etc.
- En Biología: micro-encapsulación, virus, proteína, ácidos nucleicos, hematología, alimentos, cosméticos, saborizantes, etc.

Podemos mencionar que existen dos tipos de emulsiones:

- 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 tan 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 solo 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 están en el dominio microscópico (del orden μm) ni el dominio macroscópico (del orden de 100 micras), ellas se encuentran en un nivel de descripción intermedio o 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 con 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 al radio a la mitad, el área de cada esfera pequeña se reduce por un factor de 4 pero con el número de partículas se incrementa por un factor de 8, entonces hay un número neto del área total por un factor 2.

Después de efectuar n subdivisiones, el radio inicial R_0 se reduce a $(\frac{1}{2})^n R_0$.

Mientras que el número de esferas se incrementa a 8^n No el volumen de cada partícula pequeña es $(\frac{1}{8})^n V_0$ el área de cada partícula pequeña es $(\frac{1}{4})^n A_0$ y por lo tanto el 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.

$$A_{sp} = \frac{A_{total}}{M_{total}} = \frac{n4\pi R^2}{pn\frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{3}{pR}$$

Siendo la p la densidad de la partícula; por lo tanto el área 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 es el asfalto), y una parte hidrofílica, (generalmente es un grupo polar de tipo orgánico), 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 y positivas según el tipo de emulsificante. En la fig. 5 se muestra una representación pictórica de la emulsión aniónica y la catónica.

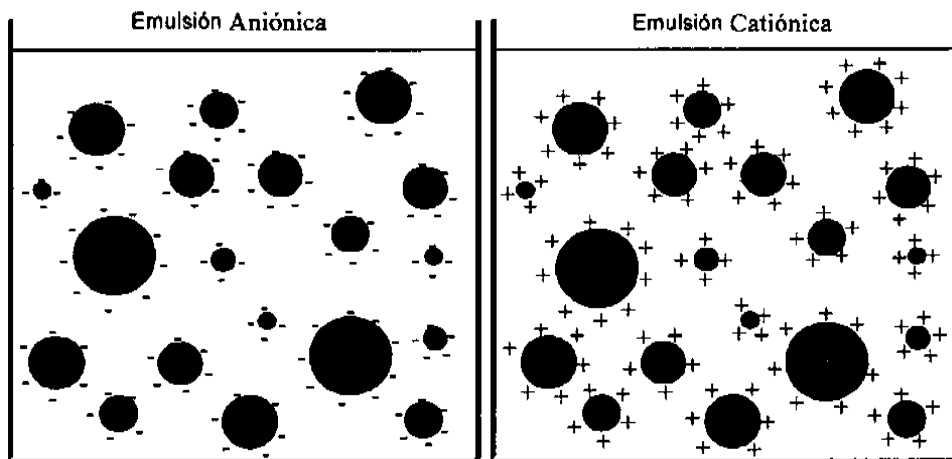
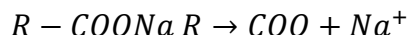


Fig.5 Representación esquemática de una emulsión catiónica y de una aniónica.

El tipo de emulsificante define el tipo de la emulsión: los emulsificantes aniónicos tienen grupos ácidos en su parte hidrofílica, con una carga eléctrica negativa; estos tienen una fórmula general:

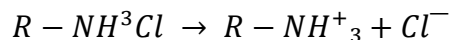


Cuando este tipo de emulsificantes se encuentran en un medio acuoso se disocia resultando:



Y el grupo carboxilato 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 $R - NH_3Cl$. Cuando este tipo de emulsificantes actúa en un medio acuoso se disocia resultando:



Y el grupo amino NH_3^+ se va a la parte hidrofílica, mientras que el radical alquilo R se queda en la parte hidrofóbica.

Los emulsificantes son los que producen la emulsión se sitúan en su mayor parte en la interface (fig. 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 aquellos 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 mas pequeñas sean las partículas) mayor será la energía libre superficial Gibbs, por lo tanto las emulsiones liofílicas son termodinámicamente esta bies, mientras que las emulsiones liofóbicas son termodinámicamente estables.

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

Existen dos 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 dos 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 solo se imposibilitan algunos sitios activos.
- Coalescencia: proceso mediante el cual dos 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 estabilidad de los sistemas coloidales se puede lograr superficialmente por dos mecanismos diferentes.

- Estabilización por carga eléctrica: esta se obtiene colocando una carga eléctrica neta en la superficie de las partículas y por una repulsión electrostática se estabiliza la dispersión.
- Estabilización estérica: esta se obtienen 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, estas 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 las emulsiones asfálticas, los líquidos no miscibles son el agua, el asfalto adicionalmente se tiene el emulgente el cual se deposita en la interface entre el agua y el asfalto y estabiliza la emulsión; este 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 diversos. A principios de 1900 (en 1905) se empleo 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 empleo 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 este mismo año en Hamburgo Alemania se construyo 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 un vigorosa agitación.

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.

A principio, tales emulsiones se usaron únicamente en la construcción de tratamientos superficiales como el riego de liga y de sello. Al reconocerse la ventaja de las emulsiones catiónicas sobre las aniónicas y los rebajados, se inicio la búsqueda de un emulsificante que produjera una emulsión de rompimiento lento capaz de mezclarse con una granulo para base o 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 de 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 del petróleo crudo resultando afectados los derivados del mismo, entre ellos los solventes empleados en los asfaltos, rebajados esto provoco 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 mas 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 podremos hablar de dos tipos: aniónicas y catiónicas.

- Emulsiones Aniónicas: este tipo de emulsiones el agente emulsificante le confiere una polaridad negativa a los glóbulos o sea 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 estos adquieren una carga positiva.

Respecto a la estabilidad de las emulsiones asfálticas, estas 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-GO), la cual no se debe utilizar en la elaboración de estas últimas.
- De Rompimiento Medio: estas normalmente se emplean para carpetas de mezcla en frio 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 frio elaboradas en planta y para estabilizaciones asfálticas.
- Para Impregnación: estas se utilizan para impregnaciones de subases y/o bases hidráulicas.

- Súper 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 polaridad, las emulsiones asfálticas se clasifican como se muestra en la tabla II.

Clasificación	Contenido de Asfalto (% en masa)	Tipo de Rompimiento	Polaridad
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

Tabla II. Clasificación de las Emulsiones Asfálticas.

3.2.2 Rompimiento de las Emulsiones Asfálticas.

Cuando una emulsión se usa es necesario tener control sobre la estabilidad de la emulsión, o sea se tiene 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 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 emulsificante en el material pétreo. La ruptura de la emulsión catiónica se produce por la absorción de la parte polar de 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 aún en presencia de humedad. En la fig. 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.

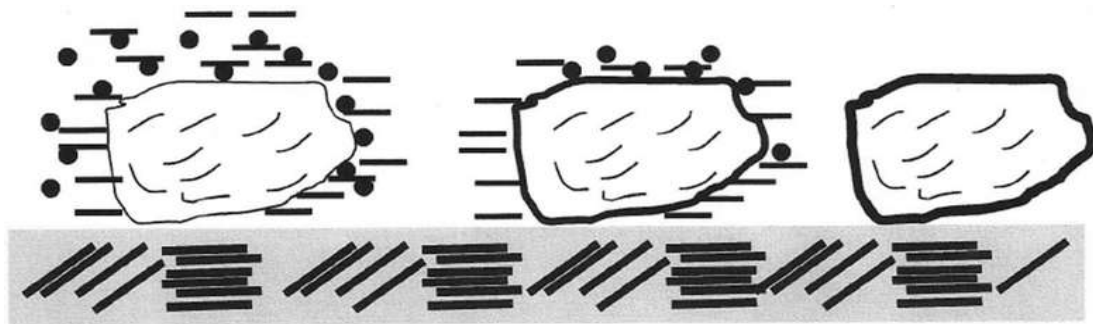


Fig.6 Ruptura de una Emulsión Asfáltica Sobre un MaterialPétreo.

La forma de rompimiento de las emulsiones asfálticas catiónicas, en la mayoría de los casos mejora adherencia y permite 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 periodo de tiempo.

3.2.3 Requisitos de Calidad para Emulsiones Asfálticas.

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

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

Características	EAR-55	EAR-60	EAM-60	EAM-65	EAL-55	EAL-60	EAI-60
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	--	--	--

Tabla III.Requisitos de Calidad para Emulsiones Asfálticas Aniónica.

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

Características	EAR-60	EAR-65	EAM-70	EAM-65	EAL-65	EAL-45	EAL-60
Contenido Asfalto	60	65	68	65	65	60	60
Viscosidad S-F (25C)	--	--	--	--	25	5	25
Viscosidad S-F (50C)	--	--	--	--	--	--	--
Asentamiento (5 días)	5	40	50	25	--	--	--
Retenido en	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Malla 20							
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	--
Índice de Ruptura	<100	<100	<100	80-140	>120	--	>120

Tabla IV. Requisitos de Calidad para Emulsiones Asfálticas Catiónicas.

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 esta con el material pétreo, es necesario conocer el tipo de material petreo que se tiene, para determinar el tipo de emulsión asfáltica apropiada.

La clasificación de las rocas tienen en cuenta la proporción en sílice que contienen acidas, son las que tienen mas del 66% de dióxido de silicio (SiO_2); intermedias las que contienen entre 52 y 66% del mismo material y, básicas las que contienen menos del 52%. En la tabla V se muestran rocas representativas de estos dos grupos.

ROCAS ACIDAS	ROCAS INTERMEDIAS	ROCAS BASICAS
Granitos Granodiorita Granito pórfido Riolita Diacita	Sienita Traquita Traquiandesita Diorita Andesita Fonolita	Gabro Basalto Peridotita Piroxenita Diabasa Dolerita

Tabla V. Clasificación del Material Pétreo por su Contenido Sílice.

Durante muchos años se tubo la idea de 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 estas para la realización de los 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 que 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 mas sencillo debido a que todos sus componentes se aplican a temperatura ambiente.
- 9).- Por su aplicación en frio, ayuda a no alterar el medio ambiente y queda suprimida la emulsión de humos o gases.
- 10).- El empleo de 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 e describen a continuación:

- 1).- Si el deposito se uso para almacenar emulsiones aniónicas y se van a almacenar emulsiones catiónicas, es necesario neutralizar la acción de agua lavando el tanque, primero con agua y posteriormente con ácido clorhídrico diluido al 1%.

- 2).- Por lo contrario, si el deposito se uso para almacenar emulsiones catiónicas y se quiere almacenar emulsiones aniónicas se tendrá que lavar con agua y neutralizarlo con sosa caustica al 0.3%.
- 3).- Para descargar la 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 esté establecida permanentemente en una región donde se registren temperaturas muy bajas, los tanques deben tener un sistema de calentamiento adecuado o estar cubiertos con algún sistema aislante para evitar congelación.
- 5).- Cuando los tanques de almacenamiento sean los que se usan, la compañía constructora los depósitos s 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 la emulsión en obra se recomienda comprobar su calidad y el tipo de emulsión 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 mas de un año, 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 de ser de 10°C mínimos y en ascenso y nunca debe hacerse durante la noche.
- 10).- La emulsión una vez que se desestabiliza (o sea que ya produjo rompimiento) no debe de re-emulsificarse aun en presencia de agua y del paso de vehículos, por este motivo es muy importante que el emulsificante sea el adecuado.

3.2.7 Uso 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 las que destacan:

1. Usos generales.
2. Juntas para pavimentos hidráulicos.
3. Adhesivos.

4. Selladores.
5. Impermeabilizantes.
6. Recubrimientos de tubería especial.
7. Para tratamientos superficiales, para pavimentos asfálticos en carreteras y autopistas, riegos de impregnación, riegos de impregnación o penetración, riegos negros con emulsión diluida, riegos de liga, riegos de sello con arena o gravilla seleccionada.
8. Morteros asfálticos o SlurrySeal (solo con emulsiones asfálticas).
9. Bacheo.
10. En la masa o mezcla asfáltica, para carreteras y aeropistas.
11. Mezcla cerrada, 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 catiónicas.

CARACTERISTICAS	NORMA S.C.T 601.03.011	EMULSION RAPIDA		EMULSION MEDIA		EMULSION LENTA	
		RR-C1	RR-C2	RM-C1	RM-C2	RL-C1	RL-C2
Viscosidad SayboltFurol 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	011-G.09	60	63	60	63	63	60
Evaporación % Mínimo	011-G.10	60	63	60	63	63	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	POSITIVA					
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	Beige	Sin color
Miscibilidad en agua	ASTM D-244	Negativa	Negativa	POSITIVA			
Determinación del potencial en hidrógeno	011-F.04	<4	<4	<4	<4	<4	<4

(Ph) máximo							
-------------	--	--	--	--	--	--	--

Especificaciones del Residuo Asfáltico.

CARACTERISTICAS	NORMA S.C.T. 601.03.011	EMULSION RAPIDA		EMULSION MEDIA		EMULSION LENTA	
		RR-C1	RR-C2	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 mas 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 ASSHTO 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 δ 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 horas se adopto por estar especificada en la ASTM pero se ha modificado según el método adjunto.

Nota 2. La prueba de la partícula de efectuarse en un lapso mínimo de 2 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 sumergiendo la 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 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: Secretaria 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, han permitido la aparición de nuevos tipos de emulsiones entre las que podemos mencionar: 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 mas 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 existe en el mercado un gran numero de asfaltos modificados con polímeros, que en general utilizan un emulgente catiónico para lograr la unión y estabilidad del cemento asfaltico, el polímero y el agua constituyendo una emulsión asfáltica catiónica con polímeros.

Los fabricantes de los productos mencionados los promocionan al publico mostrando su calidad en comparación con los empleados tradicionalmente en los usos de ingeniería civil, por medio de resultado de pruebas de laboratorio, las cuales están especificadas en normas establecidas por organismos reconocidos a nivel internacional y nacional tales como ASTM, AASHTO, SHRP, SCT y NOM.

Los asfaltos modificados que podemos adquirir en México tienen características de que son provenientes del extranjero, por lo que resultan muy costosos ya que de 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 para la fabricación de emulsiones es muy simple y fácil de conseguir en el mercado. El problema esta 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 Fig. 7.

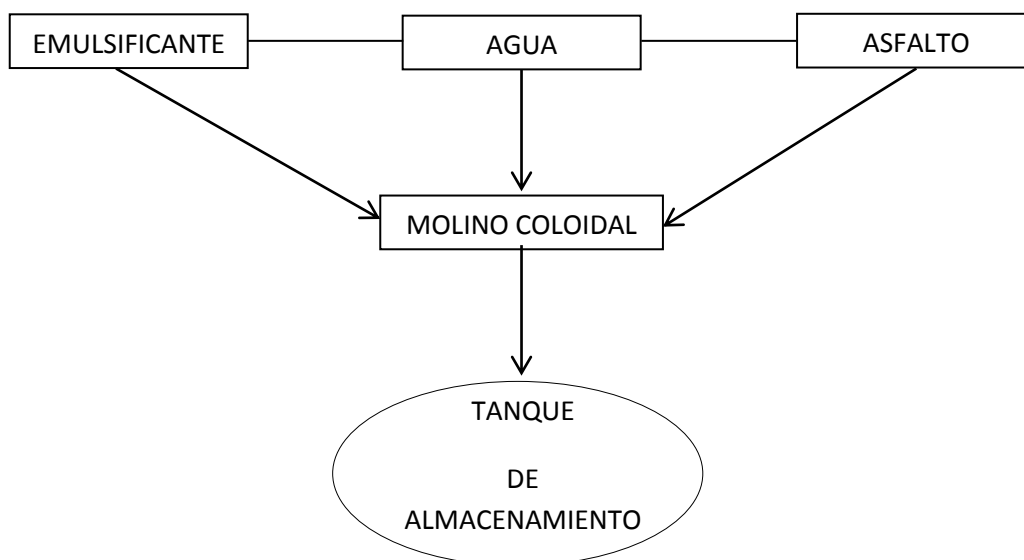


Fig.7 Esquema para la Fabricación de la Emulsión Asfáltica.

3.4. Normas de Construcción de Carreteras

1.- Riegos de Impregnación.

A.-Contenido.

Esta norma contiene los aspectos a considerar en la aplicación de riegos asfálticos de impregnación en la construcción de carreteras y autopistas.

B.-Definición.

Consiste en la aplicación de un material asfáltico sobre una capa de material petreo como la base del pavimento, con el objeto de impermeabilizarla y favorecer la adherencia entre ella y la carpeta asfáltica. El material asfáltico que se utiliza es una emulsión de rompimiento (RL) lento, rompimiento, rápido (RR). La aplicación de riego de impregnación puede omitirse si la capa por construir encima es una carpeta asfáltica con espesor mayor o igual a 10 cm.

C.-Referencias.

Esta norma se complementa con las últimas versiones de las siguientes:

NORMAS	DESIGNACIÓN
Ejecución de Obras.....	N.LE.3
Calidad de los Materiales Asfálticos.....	N.CMT.4.05.001

D.-Materiales.

D.1.- Los materiales que se utilicen en la aplicación de riegos de impregnación, serán del tipo y con las características establecidas en el proyecto.

D.2.- No se aceptará el suministro y aplicación de materiales que no cumplan con las características establecidas en el proyecto o aprobadas por la secretaria, ni aun

en el puesto de que serán mejorados posteriormente en el lugar de trabajo por el contratista de obra.

D.3.- Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la secretaría, los materiales presentan diferencias respecto a las características establecidas en el proyecto o aprobadas por la misma, se suspenderá inmediatamente el trabajo hasta que el contratista de obra las corrija por su costo y cuenta.

Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación que por este motivo se ocasionen serán imputables al contratista.

E.-Equipo.

El equipo que se utilice para la aplicación de riegos de impregnación, será el adecuado para obtener la calidad especificada en el proyecto, en cantidad suficiente para producir el volumen establecido en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación y conforme con el programa de utilización de maquinaria, siendo responsabilidad del contratista de obra su selección. Dicho equipo debe estar y mantenido en óptimas condiciones de operación durante el tiempo que dure la obra y ser operado por personal capacitado. Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la secretaría, si el equipo presenta deficiencias o no produce los resultados esperados se suspenderá inmediatamente el trabajo hasta que el contratista de obra corrija dichas deficiencias o reemplace con el equipo adecuado.

Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación que por este motivo se ocasionen, serán imputables al contratista.

En la selección del equipo el contratista de obra considerará lo siguiente:

E.1.- Petrolizadoras:

Serán capaces de establecer a temperatura constante un flujo uniforme del material asfáltico sobre la superficie por cubrir en anchos variables y en dosificaciones controladas, estar equipadas con odómetro, medidores de presión, dispositivos adecuados para la medición del volumen aplicado y termómetro para medir la temperatura del material asfáltico dentro del tanque y contar con una bomba y barras de circulación completas que puedan ajustarse vertical y lateralmente.

E.2.- Barredoras Mecánicas:

Las barredoras mecánicas que se utilicen para la limpieza de las superficies tendrán una escoba rotatoria autopropulsada.

F.-Transporte y Almacenamiento.

El transporte y almacenamiento de todos los materiales son responsabilidad exclusiva del contratista de obra y lo realizara de tal forma que no sufran alteraciones que pudieran ocasionar deficiencias en la calidad de la obra tomando en cuenta lo establecido en la Norma N.CMT.4.05.001 (Calidad de los Materiales Asfálticos) y sujetándose en lo que corresponda a las leyes y reglamentos de protección ecológica vigentes.

G.-Ejecución.

Además de lo señalado en la cláusula D de la Norma N.LEG.3 (Ejecución de Obras), para la aplicación de riegos de impregnación se tiene que considerar lo siguiente:

G.1.- Dosificación de los Materiales

G.1.1.- La dosificación de los materiales asfálticos que se empleen en la aplicación de riegos de impregnación, se realizara según lo establecido en el proyecto o lo indicado por la secretaría.

G.1.2.- Si la ejecución del trabajo y a juicio de la secretaría, la dosificación del material asfáltico difiere de la establecida en el proyecto o aprobada por la secretaría, se suspenderá inmediatamente el trabajo hasta que el contratista de obra corrija por su cuenta y costo. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación que por este motivo se ocasionen, serán imputables al contratista de obra.

G.2.- Condiciones Climatológicas.

Los trabajos serán suspendidos en el momento en que se presenten situaciones climáticas adversas y no se reanudarán mientras no sean las adecuadas, considerando que no se aplicaran riegos de impregnación en las siguientes condiciones.

G.2.1.- Sobre superficies con agua libre o encharcadas.

G.2.2.- Cuando exista amenaza de lluvia o esté lloviendo.

- G.2.3.- Cuando la velocidad del viento impida que la aplicación del material asfáltico sea uniforme.
- G.2.4.- Cuando la temperatura de la superficie sobre la cual serán aplicados esté por debajo de 15° Celsius.
- G.2.5.- Cuando la temperatura ambiente esté por debajo de los 15° Celsius y su tendencia sea a la baja; sin embargo, pueden ser aplicados cuando la temperatura ambiente esté por arriba de los 10° Celsius y su tendencia sea a la alza. La temperatura ambiente será tomada a la sombra lejos de cualquier fuente de calor artificial.
- G.2.6.- Cuando se utilicen asfaltos rebajados estos no podrán aplicarse cuando la capa por cubrir esté húmeda.

G.3.- Trabajos Previos.

- G.3.1.- Inmediatamente antes de la aplicación del riego de impregnación, toda la superficie por cubrir deberá estar debidamente preparada exenta de materias extrañas, polvo, grasa o encharcamientos, si irregularidades y reparados los baches que hubieran existido así como la compactación de proyecto. No se permitirá el riego sobre tramos que no hayan sido previamente aceptados por la secretaría.
- G.3.2.- Previamente el riego de impregnación, las estructuras de la carretera o contiguas que pudieran mancharse directa o indirectamente durante la aplicación del material asfáltico, tales como banquetas, guarniciones, camellones parapetos, postes, pilas, estribos, caballetes y barreras separadoras. Entre otras se protejan con papel u otro material similar, de manera que concluido el trabajo y una vez retirada la protección se encuentren en las mismas condiciones de limpieza en las que se hallaban.
- 6.3.3.- Cuando se utilicen emulsiones asfálticas para retrasar su rompimiento y mejorar la absorción de la superficie, ocasionalmente es necesario un riego de agua previo, sin embargo, el material asfáltico no se aplicará sino hasta que el agua superficial se haya evaporado la superficie para que no exista agua libre o encharcamientos.

6.4.- Aplicación del Material Asfáltico.

El material asfáltico del tipo y con la dosificación establecidos en el proyecto o aprobados por la secretaría debe ser aplicado uniformemente sobre la superficie por cubrir, tomando en cuenta lo siguiente:

- G.4.1.- En las juntas transversales, antes de iniciar un nuevo riego, se colocaran tiras de papel u otro material similar para proteger el riego existente, de tal manera que el nuevo riego se inicie desde dicha tira y al retirarse esta no quede un traslape del material asfáltico.
- G.4.2.- Se ajustara la altura de la barra de la petrolizadora para aplicar el material asfáltico uniformemente, con la dosificación establecida en el proyecto, de manera que la base del abanico que se forma al salir el material por una boquilla, cubra hasta la mitad de la base del abanico de la boquilla contigua (cubrimiento doble) o que la base del abanico de una boquilla cubra dos terceras partes de la base del abanico de la boquilla contigua (cubrimiento triple) como se muestra en la Fig. No.1 de esta Norma.
- G.4.3.- La ampliación del material asfáltico en una franja continua a otra previamente regada, se hará de tal manera que el nuevo riego se traslape con el anterior en un medio o dos terceras partes del ancho de la base del abanico de la boquilla extrema de la petrolizadora, según se trate de cubrimiento doble o triple como se muestra en la Fig. No.1 de esta Norma con el propósito de que la dosificación del producto asfáltico en la orilla de la franja precedente sea la indicada en el proyecto.

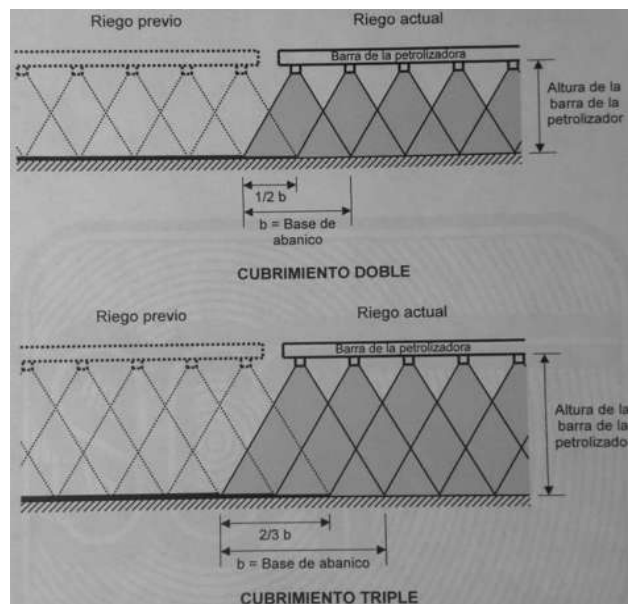


Fig. No.8 Aplicación del Material Asfáltico

- G.4.4.- En su caso el exceso de material asfáltico que se hubiera aplicado debe ser removido. Las deficiencias que por esta causa se presenten deben ser corregidas por cuenta y costo del contratista.
- G.4.5.- La cantidad, temperatura, ancho y longitud de aplicación del material asfáltico, son responsabilidad del contratista de la obra. Sin embargo, la secretaría se reserva el derecho de no recibir el trabajo si a su juicio el riego tiene alguna deficiencia.
- G.4.6.- A menos que el proyecto indique otra cosa o así lo ordene la secretaría, la penetración del riego de impregnación debe ser mayor o igual a 4 mm.
- G.4.7.- No se iniciara la construcción de la siguiente capa sino hasta que haya pasado el tiempo suficiente para que el material aplicado en el riego de impregnación penetre y el agua o solvente según sea el caso, se haya eliminado.
- G.4.8.- La superficie impregnada permanecerá cerrada a cualquier tipo de tránsito hasta que la penetración establecida en el proyecto u ordenada por la secretaría se haya producido. Cualquier deterioro que se origine en la capa impregnada por la apertura anticipada al tránsito u otras causas imputables al contratista de obra, tendrá que ser reparado por su cuenta y costo.
- G.4.9.- Cuando por causas de fuerza mayor y previa autorización de la secretaría sea necesario abrir el tránsito una superficie impregnada antes de que ocurra la penetración requerida o si a juicio de la secretaría existe exceso de material asfáltico en la superficie y este no amerita ser removido, el riego de la impregnación se cubrirá con arena u otro material de esas características, en la cantidad y con el procedimiento que apruebe la secretaría.

G.5.- Conservación de los Trabajos.

Es responsabilidad del contratista de obra la conservación del riego de impregnación hasta que haya sido recibido por la secretaría.

H.-Criterios a Aceptación o Rechazo.

Para que un riego de impregnación sea aceptado por la secretaría este deberá cumplir con todo lo establecido en la Norma.

I.- Medición.

Cuando la aplicación de los riegos de impregnación se contrate a precios unitarios por unidad de obra terminada y sean ejecutados conforme a lo indicado en esta norma, a satisfacción de la secretaría, se medirán según lo señalado en la cláusula E de la Norma N.LEG.3 (Ejecución de Obras), para determinar el avance o la cantidad de trabajo realizado para efecto de pago, tomando en cuenta lo siguiente:

- I.1.- La medición del material se hará tomando en cuenta como unidad el metro cuadrado de riego de impregnación aplicado según el tipo de dosificación del material asfáltico establecidos en el proyecto con aproximación a la unidad.
- I.2.- A menos que la secretaría indique otra cosa, la medición de la arena o cualquier otro material utilizado para cubrir el riego de impregnación se hará tomando como unidad el metro cubico colocado, determinando el volumen del material en los vehículos de transporte inmediatamente antes de su colocación, verificándolo a partir de la cantidad en litros por metro cuadrado que sea tendido de acuerdo en lo establecido en el proyecto u ordenado por la secretaría.

J.-Base de Pago.

Cuando la aplicación de los riegos de impregnación se contrate a precios unitarios por unidad de obra terminada y sean medidos de acuerdo a lo indicado en la cláusula I de esta norma se pagaran de la siguiente manera:

- J.1.- El material asfáltico se pagara al precio fijado en el contrato por metro cuadrado de riego de impregnación aplicado, según el tipo y dosificación del material asfáltico establecido en proyecto. Estos precios unitarios, conforme a lo indicado en la cláusula F de la Norma N.LEG.3 (Ejecución de Obras) incluyendo lo que corresponda por: valor de adquisición o producción del material asfáltico, limpieza del tanque en que se transporte, movimiento en la planta de producción y en el lugar del destino, carga al equipo de transporte, transporte al lugar de almacenamiento, descarga en el depósito, cargo por almacenamiento y todas las operaciones de calentamiento y bombeo requeridas; barrido y limpieza de la superficie sobre la que se aplicara el riego, protección de las estructuras o parte de ellas, precauciones para no mancharlas con el material asfáltico y para evitar traslapes excesivos; cargas en el depósito del material asfáltico al equipo de transporte y acarreo al lugar de utilización; aplicaciones del material asfáltico en la forma en que se fije el proyecto, los tiempos de los vehículos empleados en los transportes y riego de los materiales durante las cargas y descargas y todo lo necesario para la correcta ejecución del concepto.

J.2.- A menos que la secretaría indique otra cosa, la arena o cualquier otro material que se haya utilizado para cubrir el riego de impregnación, se pagara al precio fijado en el contrato para el metro cubico. Los precios unitarios conforme a lo indicado en la cláusula F de la Norma N.LEG.3 (Ejecución de Obras) incluyen lo que corresponda por desmonte y despalle en los bancos, extracción del material petreo aprovechable y del desperdicio, cualesquiera que sean sus clasificaciones, instalación y desmantelamiento de la planta, alimentación de la planta cribados y desperdicios de los cribados, trituración total, lavado o eliminación del polvo superficial adherido a los materiales, cargas descargas y todos los acarrees locales necesarios para los tratamientos así como los desperdicios, y formación de los almacenamiento; cargas en los almacenamientos de los materiales al equipo de transporte y acarreo al lugar de utilización tendido del material; recolección, remoción, deposito en la forma y en el sitio indicado en el proyecto, del material excedente; los tiempos de los vehículos empleados en el transporte de todos los materiales durante las cargas y descargas y todo lo necesarios para la correcta ejecución del concepto.

K.-Estimación y Pago.

La estimación y pago de los riegos de impregnación aplicados se efectuará de acuerdo con lo señalado en la cláusula G de la Norma N.LEG.3 (Ejecución de Obras).

L.-Recepción de la Obra.

Una vez concluida la aplicación del riego de impregnación la secretaría lo recibirá conforme lo señalado en la cláusula H de la Norma N.LEG.3 (Ejecución de Obras) aplicando en su caso, las sanciones a que se refiere la cláusula I de la misma norma.

3.5 Normas para Carpeta Asfáltica de Granulometría Densa

A.-Contenido.

Esta norma contiene los aspectos por considerar en la construcción de carpetas de granulometría densa ya sea como refuerzo o para reponer carpeta asfáltica original de carreteras en operación.

B.-Definición.

Las carpetas asfálticas de granulometría densa son aquellas que se construyen sobre un pavimento existente, mediante el tendido y compactación de una mezcla de materiales pétreos de granulometría densa y cemento asfáltico modificado o no, utilizando generalmente calor como vehículo de incorporación con la finalidad principal de reforzar la estructura del pavimento, además de restablecer o mejorar las características de comodidad y seguridad de la superficie de rodadura. En el caso de mezclas elaboradas en frío el material asfáltico puede ser rebajado o con solventes.

C.- Materiales.

C.1.- Los materiales que se utilicen en la construcción de carpetas de granulometría densa, cumplirán con lo establecido en las Normas:

N.CMT.04.04	Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas.
N.CMT.04.05.003	Calidad de las Mezclas Asfálticas para Carretera.
N.CMT.04.05.001	Calidad de los Materiales Asfálticos.
N.CMT.04.05.002	Calidad de los Materiales Asfálticos Modificados.
N.CMT.04.05.002	Calidad de los Materiales Asfálticos Grado PG.

Salvo el proyecto indique otra cosa o así lo apruebe la secretaría, los materiales pétreos procederán de los bancos indicados en el proyecto o aprobados por la secretaria.

C.2.- Si dados los requerimientos de obra es necesario modificar las características de los materiales pétreos del material asfáltico o de la interacción entre ambos

utilizando aditivos, estos estarán establecidos en el proyecto o serán aprobados por la secretaría.

Si el contratista de la obra propone la utilización de aditivos, lo hará mediante un estudio técnico que los justifique, sometiendo que los justifique, sometiendo dicho estudio a la secretaría para su análisis y aprobación.

Dicho estudio ha de contener como mínimo las especificaciones y resultados de las pruebas de calidad así como los procedimientos para el manejo y uso y, aplicación de los aditivos.

- C.3.- No se aceptara el suministro y aplicación de materiales que no cumplan con lo indicado en la fracción C.1 de esta Norma, ni aun en el supuesto de que serán mejoradas posteriormente en el lugar de utilización del contratista de obra.
- C.4.- Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la secretaría los materiales presentan deficiencias respecto a las características establecidas como lo indica la fracción C.1 de esta Norma se suspenderá inmediatamente el trabajo en tanto que el contratista de la obra lo corrija lo cual correrá por cuenta y costo de él.

D.- Equipos.

El equipo que se utilice para la construcción de carpetas de granulometría densa será el adecuado para obtener la calidad especificada en el proyecto en cantidad suficiente para producir el volumen establecido en el programa.

Dicho equipo estará mantenido en óptimas condiciones de operación durante el tiempo que dure la obra y operado por personal capacitado.

Si a juicio de la secretaría el equipo presenta deficiencias o no produce los resultados esperados, se suspenderá inmediatamente el trabajo en tanto el contratista no corrija las deficiencias.

D.1 Plantas de Mezclado.

Tolvas para almacenar el material pétreo, protegidas de la lluvia y el polvo con capacidad suficiente para asegurar la operación continua de la planta por lo menos durante 15 minutos sin ser alimentadas y divididas en compartimentos

para almacenar los materiales pétreos por tamaños. Si la alimentación de las tolvas se realiza con equipo autopropulsado este estará equipado con un cucharón cuyo ancho no provoque derrames en compartimentos adyacentes para evitar contaminación del material.

- D.1.2.- Secador con inclinación ajustable colocado antes de las cribas clasificadoras y con capacidad suficiente para secar una cantidad de material pétreo igual o mayor que la capacidad de producción de la planta en el caso de las mezclas en caliente.
- D.1.3.- Pirógrafo a la salida del secador para registrar automáticamente la temperatura del material pétreo, en el caso de mezclas en caliente.
- D.1.4.- Cribas para clasificar el material pétreo por lo menos en tres tamaños, con capacidad suficiente para mantener siempre en las tolvas material pétreo disponible para la mezcla asfáltica.
- D.1.5.- Silo para almacenar y proteger la humedad a los finos de aportación (Filer) con sistema de dosificación ajustable con operación independiente a la del sistema utilizado para el resto de los materiales pétreos.
- D.1.6.- Dispositivos para dosificar los materiales pétreos por masa y que permitan un fácil ajuste de la dosificación en cualquier momento para poder obtener la granulometría que indique el proyecto.
- D.1.7.- Equipo para calentar el cemento asfáltico en forma controlada que garantice que este no contamine y que este provisto de un termómetro con mango de 20 a 210 grados Celsius en el caso de mezclas en caliente.
- D.1.8.- Dispositivos para dosificar el cemento asfáltico con una aproximación de $\pm 2\%$ de la cantidad requerida según el proporcionamiento de la mezcla asfáltica.
- D.1.9.- En su caso, sistema de dosificación de fibras que permitan su incorporación en un punto tal que no se provoque su alteración por flama en el tambor secador o su pérdida por el flujo de gases dentro del tambor mezclador.
- D.1.10.- Mezcladora equipada con un dispositivo para el control del tiempo de mezclado.
- D.1.11.- Dispositivo para recolección y reincorporación del polvo, que impida la pérdida de los finos (material que pasa la malla No. 200) y los reincorpore a la mezcla asfáltica evitando la contaminación ambiental.

D.2 Pavimentadoras.

Autopropulsadas, capaces de esparcir y precompactar la carpeta con mezcla asfáltica que se tienda, con el ancho, sección y espesor establecidos en el proyecto, incluyendo los acotamiento y zonas similares. Estarán equipadas con los dispositivos necesarios para un adecuado tendido de la carpeta de granulometría densa como son: un enrasador o aditamento similar que pueda ajustarse automáticamente en el sentido transversal, ser calentado en caso de ser necesario y proporcionar una textura lisa y uniforme sin protuberancias o canalizaciones. Una tolva receptora de la mezcla asfáltica con capacidad para asegurar un tendido homogéneo, equipada con un sistema de distribución mediante el cual se reparta la mezcla uniformemente frente al enrasador y sensores de control automático de niveles.

En el caso de que se requiera aplicar el riego de liga en forma sincronizada en el tendido de la mezcla, las pavimentadoras contarán además con un sistema capaz de proporcionar a temperatura constante un flujo uniforme de material asfáltico para el riego sobre la superficie por cubrir en anchos variables y en dosificaciones controladas que incluyan un tanque de almacenamiento del material asfáltico, medidores de presión, dispositivos para la medición del volumen que se aplique, bombas y barras de circulación completas con sistema de calentamiento, que puedan ajustarse verticalmente.

D.3.- Compactadores.

D.3.1.- Autopropulsados, reversibles, provistos de un sistema de rocío de agua y de petos limpiadores para evitar que el material adhiera a los rodillos. Pueden ser de 3 rodillos metálicos o de 2 o 3 ejes con rodillos en tándem con diámetro mínimo de 1 metro (40 in) en todos los casos.

D.3.2.- Compactadores Neumáticos.

Remolcados o autopropulsados, tendrán cuatro ruedas como mínimo de igual tamaño, montadas sobre dos ejes unidos a un chasis rígido equipado con una plataforma o cuerpo que pueda ser trasladado de forma que la masa total del compactador se distribuya uniformemente en ellas dispuestas de manera que las del eje trasero cubran en una pasada el espacio completo entre las llantas adyacentes en el eje delantero. Las llantas serán lisas con tamaño mínimo de 7.50 – 15 de cuatro capas inflados uniformemente a la presión recomendada por el fabricante con una tolerancia máxima de (34.5 kilopascales) (5lb/in²).

D.4.- Barredoras Mecánicas.

Autopropulsadas o remolcadas, contarán con una escoba rotatoria con el tipo de cuerdas adecuado según el material por remover y la superficie a barrer.

E.- Transporte y Almacenamiento.

El transporte y almacenamiento de todos los materiales con responsabilidad exclusiva del contratista de obra y los realizara de tal forma que no sufran alteraciones que ocasionen deficiencias en la calidad de la obra, tomando en cuenta lo establecido en las Normas N.CNT.4.04 materiales pétreos para mezclas asfálticas, calidad de los materiales asfálticos, calidad de los materiales asfálticos modificados, calidad de mezclas asfálticas para carreteras, calidad de materiales asfálticos grado PG que procedan. Se sujetaran en lo que corresponda a las leyes y reglamentos de protección ecológica vigentes.

E.1.- El transporte de las mezclas asfálticas se hará siempre sobre superficies asfálticas.

E.2.- La distancia del transporte de la mezcla asfáltica será tal que el tiempo de recorrido no exceda de 1.5 horas para evitar el escurrimiento del cemento asfáltico, pero nunca mayor de 60 km menos 10% por cada grado de pendiente ascendente, medida como desnivel entre la planta de mezclado y el punto de tiro, dividido entre la distancia de transporte.

F.- Ejecución.

F.1.- Consideraciones.

Para la construcción de carpetas de granulometría densa se considerará lo señalado en la cláusula D de esta Norma N.LEG.3 (Ejecución de Obras).

F.2.- Proporcionamiento de Materiales.

F.2.1.- Los materiales pétreos, asfálticos y aditivos que se emplean en la elaboración de las carpetas de granulometría densa, se mezclarán con el proporcionamiento necesario para producir una mezcla asfáltica homogénea,

con las características establecidas en el proyecto o aprobados por la secretaría.

F.2.2.- El proporcionamiento se determinará mediante un diseño de mezclas asfálticas de granulometría densa, ya sea en caliente o en frío, según corresponda para obtener las características establecidas en el proyecto o aprobados por la secretaría. Este diseño será responsabilidad del contratista de obra aplicando el método de diseño que establezca el proyecto o apruebe la secretaría.

F.2.3.- Si la ejecución del trabajo y a juicio de la secretaría las dosificaciones de los distintos tipos de materiales pétreos asfálticos y aditivos utilizados en la elaboración de la carpeta de granulometría densa no se obtiene una mezcla con las características establecidas en el proyecto o aprobadas por la secretaría, se suspenderá inmediatamente el trabajo en tanto el contratista de obra corrija por su cuenta y costo.

F.3.- Condiciones Climáticas.

Los trabajos serán suspendidos en el momento en que se presenten situaciones climáticas adversas y no se reanudarán mientras estén no sean las adecuadas, considerando que no se construirán carpetas granulométricas densas.

F.3.1.- Sobre superficies con agua libre o encharcada.

F.3.2.- Cuando exista amenaza de lluvia o esté lloviendo.

F.3.3.- Cuando la temperatura de la superficie sobre la cual serán construidas esté por debajo de los 15° Celsius y se trate de mezclas en caliente o de los 4° Celsius si se trata de mezclas en frío.

F.3.4.- Cuando la temperatura ambiente esté por debajo de los 15° Celsius y su tendencia sea a la baja en el caso de las mezclas asfálticas en caliente sin embargo, pueden ser construidas cuando la temperatura ambiente esté por arriba de los 10° Celsius y su tendencia sea a la alza. La temperatura ambiente será tomada a la sombra, lejos de cualquier fuente de calor artificial.

F.3.5.- Cuando la temperatura ambiente esté por debajo de los 4° Celsius para el caso de mezclas asfálticas en frío. La temperatura será tomada a la sombra lejos de cualquier fuente de calor artificial.

F.4.- Trabajos Previos.

- F.4.1.- Antes de iniciar la construcción de la carpeta de granulometría densa, el contratista de obra instalará las señales y dispositivos de seguridad que se requieran conforme a lo indicado en la Norma N-PRY-CAR-10.03.001 (Ejecución de Proyectos de Señalamientos y Dispositivos para Protección de Obras) como se indica en la Norma N-CSV-CAR-2.05.011 (Instalación de Señalamientos y Dispositivos para Protección de Obras) y contará con bandereros que se requieran considerando por lo menos cuatro. En ningún caso se permitirá la construcción de la carpeta de granulometría densa mientras no se cumpla con lo establecido en el inciso. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación que por este motivo se ocasionen serán imputables al contratista.
- F.4.2.- Cuando así lo indique el proyecto previo a la construcción de la carpeta de granulometría densa se hará un fresado continuo que abarque toda la superficie por cubrir eliminando defectos superficiales de la carpeta original y de las renivelaciones locales.
- F.4.3.- Inmediatamente antes de la construcción de la carpeta de granulometría densa, la superficie de la carpeta sobre la que se colocará estará debidamente preparada exenta de basura, piedras, polvo, grasa o encharcamientos de material asfáltico sin irregularidades o depresiones y reparados satisfactoriamente los baches que hubieran existido.
- F.4.4.- Los acarreos de la mezcla hasta el sitio de su utilización, se harán de tal forma que el tránsito sobre la superficie donde se construirá la carpeta de granulometría densa se distribuya sobre todo lo ancho de la misma evitando la concentración en ciertas áreas y por consecuencia su deterioro. No se permitirá que los camiones que transportan la mezcla asfáltica hagan maniobras que puedan distorsionar, disgregar u ondular las orillas de una capa recién tendida.
- F.5.- Elaboración de la Mezcla Asfáltica.
- F.5.1.- El procedimiento que se utilice para la elaboración de la mezcla asfáltica es responsabilidad del contratista de obra quien tendrá los cuidados necesarios para el manejo de los materiales a lo largo de todo el proceso para que la mezcla cumpla con los requerimientos establecidos en el proyecto o aprobados por la secretaría.
- F.5.2.- Si la ejecución del trabajo a juicio de la secretaría la calidad de la mezcla asfáltica difiere de la establecida en el proyecto u aprobado por la secretaría, se suspenderá inmediatamente la producción en tanto que el contratista las

corrija por su cuenta y costo. En el caso de emplear asfalto modificado el proveedor del mismo indicara al contratista de obra las temperaturas adecuadas de mezclado y compactación para su producto.

- F.5.3.- Si así lo indica el proyecto o lo aprueba la secretaría inmediatamente antes de iniciar el tendido de la carpeta asfáltica de granulometría densa se aplicara un riego de liga en toda la superficie del tipo y con la dosificación establecida en el proyecto.
- F.5.4.- El tendido se hará en forma continua utilizando un procedimiento que minimice las paradas y arranques de la pavimentadora.
- F.5.5.- Cuando el tendido se haga en dos o más franjas con un intervalo de más de un día entre las franjas estas se ligaran con el cemento asfáltico o con emulsión de rompimiento rápido. Esto se puede evitar si se elimina la junta longitudinal utilizando pavimentadoras en batería.
- F.5.6.- Se tendrá cuidado especial para que el enrasador traslape las juntas de 3 a 5 cm y que el control del espesor sea ajustado de tal manera que el material quede ligeramente por arriba de la capa previamente tendida para que al ser compactada la carpeta quede con los niveles y dentro de las tolerancias establecidas en el proyecto.
- F.5.7.- De ser necesario, la mezcla asfáltica de granulometría densa se extenderá en capas sucesivas, con un espesor no mayor que aquel que el equipo sea capaz de compactar como se indica en la fracción F.8 de ésta Norma, hasta que se obtengan la sección y el espesor establecidos en el proyecto. En el caso de mezclas asfálticas en caliente cuando el tendido se haga por capas, la capa sucesiva no se tendera hasta que la temperatura de la capa anterior sea menor de 70° Celsius en su punto medio.
- F.5.8.- Cada capa de mezcla asfáltica se colocará cubriendo como mínimo el ancho total de un carril.
- F.5.9.- Durante el tendido de la mezcla asfáltica la tolva de descarga de la pavimentadora permanecerá llena para evitar la segregación de los materiales. No se permitirá el tendido de la mezcla asfáltica si existe segregación.
- F.5.10.- Al final de cada jornada y con frecuencia necesaria se limpiaran perfectamente todas aquellas partes de la pavimentadora que presenten residuos de la mezcla asfáltica.

F.5.11.- La longitud de tendido de la mezcla es responsabilidad del contratista de obra tomando en cuenta que no se tenderán tramos mayores que los que se puedan ser compactados de inmediato.

F.5.12.- En el caso de las mezclas en caliente el tiempo de almacenamiento previo al tendido de la mezcla asfáltica no excederá de 10 min por lo que habrá una coordinación adecuada entre la producción el transporte y la colocación de la mezcla.

F.6.- Compactación.

F.6.1.- Inmediatamente después de tendida la mezcla asfáltica o bien cuando la emulsión haya comenzado a romper será compactada.

F.6.2.- La mezcla asfáltica se compactara lo necesario para lograr que cumpla con las características indicadas en el proyecto o aprobadas por la secretaría.

F.6.3.- La compactación se hará longitudinalmente a la carretera, de las orillas hacia el centro en las tangentes y del interior al exterior en las curvas con un traslape de cuando menos la mitad del ancho del compactador en cada pasada.

F.6.4.- En el caso de las mezclas en caliente, la compactación se terminara cuando la mezcla tenga una temperatura igual o mayor que la mínima conveniente para la compactación que haya determinado el contratista de obra.

F.6.5.- Por ningún motivo se estacionara el equipo de compactación por periodos prolongados sobre la carpeta de granulometría densa recién compactada para evitar que produzcan deformaciones permanentes en la superficie terminada.

F.6.6.- Se tendrá cuidado en mantener siempre bien humedecidos los rodillos compactadores para evitar que la mezcla asfáltica se adhiera y se provoquen imperfecciones en el acabado de la carpeta asfáltica.

F.7.- Acabado.

F.7.1.- La superficie de la carpeta quedará limpia y permanecerá una textura y acabados uniformes.

F.7.2.- Una vez concluida la compactación en todo lo ancho de la corona de la última capa de la carpeta asfáltica de granulometría densa, se formará un chaflán en las orillas cuya base será igual (1.5) veces el espesor de la carpeta

compactándolo con el equipo adecuado, para ello se utilizara mezcla asfáltica adicional colocándola inmediatamente después del tendido o bien directamente en las pavimentadoras si están equipadas para hacerlo.

F.7.3.- En el caso de las mezcladoras en frío, la carpeta de granulometría densa permanecerá cerrada al tránsito hasta que el material asfáltico rompa totalmente o haya fraguado y no exista el riesgo de deterioro prematuro de la superficie de la carpeta.

F.8.- Medidas de Mitigación del Impacto Ambiental.

Durante la construcción de la carpeta asfáltica de granulometría densa, el contratista de obra tomara las precauciones necesarias para evitar la contaminación del aire, los suelos, las aguas superficiales o subterráneas, la flora y la fauna, sujetándose a lo que corresponda a las leyes y reglamentos de protección ecológica existente.

F.9.- Conservación de los Trabajos.

Es responsabilidad del contratista de obra la conservación de la carpeta asfáltica de granulometría densa hasta que haya sido recibida por la secretaría cuando el tramo sea operable.

G.- Criterios de Aceptación o Rechazo.

Además de lo establecido anteriormente en esta norma para que la carpeta asfáltica de granulometría densa de cada tramo (1 km) de longitud o fracción se considere terminada y sea aceptada por la secretaría con base al control de calidad que se ejecute el contratista de obra, mismo que podrá ser modificado por la secretaría, cuando lo juzgue conveniente se comprobará.

H.- Calidad de los Materiales.

H.1.1.- Que los materiales pétreos asfálticos y aditivos utilizados en la mezcla asfáltica, así como los materiales empleados en los riegos de impregnación y de liga hayan cumplido con las características establecidas como se indica en las fracciones D.1 y D.2 de esta norma.

H.1.2.- Que las características de la mezcla asfáltica hayan cumplido con las establecidas en el proyecto o aprobadas por la secretaría.

H.1.3.- En su caso que la temperatura de la mezcla asfáltica tendida y compactada, una vez concluido el proceso de compactación haya sido igual o mayor sin llegar a quemarse, que la temperatura mínima conveniente de compactación determinada conforme a lo indicado el proveedor del cemento asfáltico modificado.

H.1.4.- Que el grado de compactación y estabilidad de la carpeta de granulometría densa una vez compactada determinada en corazones extraídos al azar mediante un procedimiento basado en tablas y números aleatorios conforme a lo indicado en el manual Criterios Estadísticos de Muestreo haya cumplido con lo establecido en el proyecto.

O lo aprobado por la secretaría considerando que:

H.1.4.1.- El número de corazones por extraer se determinará aplicando la siguiente fórmula:

$$C=L/50$$

Dónde:

C= Número de corazones por extraer aproximado a la unidad superior

L= Longitud en Tramo (M)

H.1.4.2.- Los corazones se extraerán sin dañar la carpeta asfáltica contigua a los mismos.

H.1.4.3.- Tan pronto se concluya la extracción de los corazones se rellenarán los huecos con el mismo tipo de mezcla utilizada en la carpeta compactándola y enrazando su superficie con la original de la carpeta.

H.1.4.4.- Todos los grados de compactación y los estabilizadores que se determinen en los corazones, estarán dentro de las tolerancias que fije el proyecto o apruebe la secretaría

H.2.- Índice de Perfil.

Que el índice de perfil de la última capa de la carpeta asfáltica de granulometría densa compactada, en cada franja de tendido de cada subtramo (200 m) de longitud o fracción haya sido de 31 cm por km como máximo a menos de que el proyecto indique otro valor. Se podrán aceptar índices de perfil hasta 46 cm por km en cuyo caso se aplicaran al contratista de obra los factores de sanción por incumplimiento de calidad a

que se refiere. En los casos de carriles de aceleración y desaceleración, ampliaciones en paraderos o cuñas de transición en entronques a nivel.

H.2.1.- Equipo.

El contratista de obra dispondrá y mantendrá durante el tiempo que dure la obra de un perfilógrafo tipo California que cumpla con lo indicado en el manual M.MMP.4.07.002. Antes de su utilización el equipo se calibrará como se indica en ese manual, pudiendo la secretaría verificar la calibración en cualquier momento y si a su juicio el perfilógrafo presenta deficiencias o no está bien calibrado, se suspenderá inmediatamente la evaluación en tanto que el contratista de obra lo corrija adecuadamente.

H.2.2.- Tramo de Prueba.

Para que el tramo de prueba a que se refiere la fracción H.6 de esta norma sea aceptado por la secretaría tendrá un índice de perfil de 31 cm por km como máximo.

H.2.3.- Determinación del Índice de Perfil.

H.2.3.1.- La obtención del índice de perfil de cada franja de tendido se hará a lo largo de la línea imaginaria ubicada a $\pm (9 \pm 20 \text{ cm})$ de la orilla anterior de la franja de tendido por evaluar. Las mediciones serán divididas en secciones consecutivas (200 m) con el propósito de establecer subtramos en los que se otorgue el contratista de obra un estímulo por mejoramiento de calidad o se le aplique una sanción por incumplimiento de calidad obtenida en la superficie terminada.

H.2.3.2.- Cuando la longitud de un subtramo construido en un día no alcance los 200 m será agrupado con el tramo inmediato que se construya en día siguiente. En este caso la medición del índice de perfil se hará tan pronto como sea práctico y posible pero no se hará después de 48 horas de terminado el último subtramo de ese día.

H.2.3.3.- Si el índice de perfil determinado de alguna franja de tendido de un subtramo de 200 m o fracción resulta menor a 26.1 cm por km el contratista de obra se hará acreedor a un estímulo por mejoramiento de calidad calculado con base en el precio unitario de la carpeta asfáltica de granulometría densa.

H.2.4.- Índice de Perfil Promedio Diario.

H.2.4.1.- Cada día de trabajo se determinara el índice de perfil promedio diario, obteniendo el promedio aritmético de todos los índices de perfil determinado ese día. Si el índice de perfil promedio diario resulta mayor de 46 cm por km se suspenderá de inmediato la construcción de la carpeta asfáltica de granulometría densa hasta que el contratista corrija la carpeta defectuosa. Para reanudar la construcción de la carpeta asfáltica en contratista construirá un tramo de prueba.

H.2.4.2.- Para determinar el índice de perfil promedio diario se puede usar un formato que se muestra en la Tabla No.1 de esta norma en el que para un mismo día de trabajo y cada franja de tendido y subtramo se anota el índice de perfil obtenido. Se calcula el promedio aritmético de todos los índices de perfil obtenidos el mismo día y se anota en el último renglón del formato. Si el tramo tiene dos franjas de tendido al formato se le agregan las columnas que sean necesarios para completar el número de franjas de tendido. Los índices de perfil que se obtengan en subtramos que hayan sido corregidos serán registrados en la columna correspondiente pues los valores originales se conservan sin alterar.

H.2.5.- Corrección de la superficie de la Carpeta Asfáltica de Granulometría Densa.

H.2.5.1.- El contratista de obra realizara las correcciones de la superficie de la carpeta asfáltica de granulometría densa que se requieran para obtener el índice de perfil adecuado.

H.2.5.2.- Después de obtenido el índice de perfil de cada franja de tendido en un subtramo de 200 m todas aquellas áreas en las que el perfilógrafo presente una desviación igual a 1 cm o mayor en 7.5 m o menos serán corregidos durante el fresado.

Concluida la corrección se obtendrá nuevamente el índice de perfil del subtramo para comprobar el cumplimiento de lo aquí estipulado.

Tabla No. VI Formato para el cálculo del índice de perfil promedio diario

Fecha de construcción:

<i>Tramo</i> ^[1]		<i>Subtramo</i> ^[2]		<i>I_p</i> cm/km		<i>I_{p_c}</i> cm/km		
del km	al km	del km	al km	Franja de tendido 1	Franja de tendido 2	Fecha de obtención	Franja de tendido 1	Franja de tendido 2
+	+	+	+					

		$\frac{+}{-}$	$\frac{+}{-}$					
		$\frac{+}{-}$	$\frac{+}{-}$					
		$\frac{+}{-}$	$\frac{+}{-}$					
		$\frac{+}{-}$	$\frac{+}{-}$					
$\frac{+}{-}$	$\frac{+}{-}$	$\frac{+}{-}$	$\frac{+}{-}$					
		$\frac{+}{-}$	$\frac{+}{-}$					
		$\frac{+}{-}$	$\frac{+}{-}$					
		$\frac{+}{-}$	$\frac{+}{-}$					
		$\frac{+}{-}$	$\frac{+}{-}$					
$\frac{+}{-}$	$\frac{+}{-}$	$\frac{+}{-}$	$\frac{+}{-}$					
		$\frac{+}{-}$	$\frac{+}{-}$					
		$\frac{+}{-}$	$\frac{+}{-}$					
		$\frac{+}{-}$	$\frac{+}{-}$					
		$\frac{+}{-}$	$\frac{+}{-}$					

$$\bar{I}_p = \boxed{}$$

I_p = Índice de perfil original del subtramo y franja de tendido correspondientes

I_{p_c} = Índice de perfil después de corregirlo del subtramo y franja de tendido correspondientes

$\bar{I}_p$ = Índice de perfil promedio diario. Promedio aritmético de todos los I_p obtenidos de un mismo día, (cm/km).

[1] = Tramo de 1 km o fracción

[2] = Subtramo de 200 m o fracción

H.2.5.3.- Una vez realizadas las correcciones individuales de todas las desviaciones a que se refiere el párrafo anterior, cualquier subtramo (200 m) que presente un índice de perfil mayor a 46 cm por km en cualquiera de sus franjas de tendido, será corregido mediante alguno de los procedimientos que se indican a continuación u otros.

En cualquier caso concluida la corrección se determinara nuevamente los índices de perfil de todas las franjas de tendido de subtramo para comprobar el cumplimiento de lo aquí estipulado.

- Rodadura, con mezcla asfáltica, en caliente o en frío.
- Fresado continuo de la superficie de la carpeta asfáltica en tramos no menores de 50 m a todo lo ancho de la calzada en carreteras de dos carriles o en todos los carriles en un mismo sentido o en carreteras con carriles múltiples. Para reducir el índice de perfil a 46 cm por km o menos. Sobre la superficie fresada se colocara un tratamiento superficial aprobado por la secretaría con un espesor de 2 cm como mínimo a menos de que el proyecto establezca la construcción de una capas de colocación sobre la carpeta asfáltica de una sobrecarpeta de 3 cm

de espesor como mínimo en tramos no menores de 50 m y a todo lo ancho de la calzada, en carreteras de dos carriles o en todos los carriles de un mismo sentido en carreteras con carriles múltiples elaborada con la misma mezcla asfáltica utilizada en la carpeta y que tenga índice de perfil de 46 cm por km como máximo.

H.2.5.4.- Cuando el índice de perfil de alguna franja de tendido de un subtramo (200 m) o fracción esté entre 31.1 y 46 cm por km el contratista podrá elegir entre corregir la superficie determinada o aceptar una sanción por incumplimiento de calidad calculada con base en el precio unitario de la carpeta asfáltica de granulometría densa mediante el factor que establezca la cláusula.

H.2.5.5.- Todos los trabajos de corrección serán por cuenta y costo del contratista de obra y previamente a su ejecución. Los procedimientos de corrección de la superficie de la carpeta asfáltica de granulometría densa serán sometidos a la aprobación de la secretaría. No se permitirá efectuar trabajos de corrección con equipos de impacto que puedan dañar la estructura del pavimento ni con resanes superficiales adheridos.

H.2.5.6.- Todos los trabajos de corrección de la superficie de la carpeta asfáltica se efectuarán antes de que se comprueben sus líneas pendientes y espesores. La corrección se realiza sobre la carpeta en cuyo caso la comprobación de los espesores se hará antes de colocarla.

H.3.- Líneas y Pendientes y Espesores.

Que el alineamiento, perfil, sección y espesor de la carpeta asfáltica de granulometría densa, cumplan con lo establecido en el proyecto.

H.3.1.- Previamente a la construcción de la carpeta en las estaciones cerradas a cada 20 m se nivelara la superficie de la capa inmediata inferior obteniendo los niveles en el eje y en ambos lados de este, en puntos ubicados a una distancia (B) igual al semiancho de corona de la carpeta ($A/2$) menos 70 cm a la mitad del espacio comprendido entre estos y el eje ($B/2$) y en las orillas de la carpeta como se muestra en la Fig. No.1 de esta norma sin considerar las ampliaciones en curvas ni los carriles de aceleración o desaceleración, las ampliaciones en paraderos o en cuñas de transición o entronques a nivel. Cuando existan estos elementos en las mismas secciones a cada 20 m de los carriles principales, adicionalmente se nivelaran los puntos en las orillas para posteriormente calcular las pendientes transversales como lo indica el inciso siguiente:

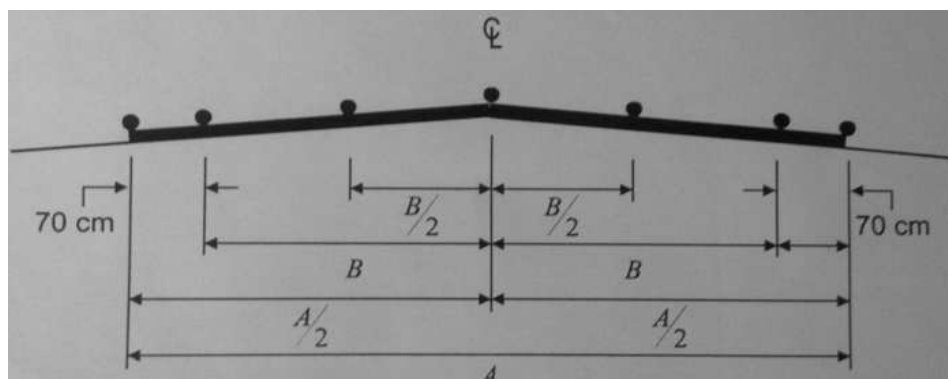


Fig. No.9 Ubicación de los Puntos por Nivelar.

H.3.2.- Una vez compactada la carpeta asfáltica de granulometría densa, comprobados sus índices de perfil en su caso hechas las correcciones a que se refiere se volverán a nivelar las mismas secciones que se indican en el inciso anterior, determinando las elevaciones de los mismos puntos ahí indicados para obtener las pendientes transversales entre ellos y se medirán en cada sección, las distancias entre el eje y las orillas de la carpeta, para comprobar que esas pendientes y distancias estén dentro de las tolerancias que se indican en la Tabla No. 2.

Tabla No. VII Tolerancias para Líneas Pendientes.

Características	Tolerancia
Ancho de la carpeta asfáltica, del eje a la orilla	± 1 cm
Pendiente transversal respecto a proyecto	$\pm 0,5\%$

H.3.3.- Si para corregir la superficie de la carpeta asfáltica se opta por colocar una sobrecarpeta como señala el punto b) del párrafo H.2.5.3 o por cualquier otro procedimiento aprobado por la secretaría, que eleve la superficie, antes de su ejecución se nivelaran las mismas secciones a que se refiere el inciso H.3.1 de esta norma determinando las elevaciones de los mismos puntos A H indicados para obtener los espesores de la carpeta antes de ser corregida.

H.3.4.- Las nivelaciones se ejecutaran con nivel fijo y comprobación de vuelta, obteniendo los niveles con aproximación al milímetro. Las distancias horizontales se medirán con aproximación al centímetro.

H.3.5.- A partir de las cotas obtenidas de nivelaciones a que se refieren en todos los puntos nivelados se determinaran los espesores de la carpeta asfáltica de granulometría densa compactada, los que serán iguales al fijado en el proyecto para cada tramo de 1 km o fracción.

H.3.6.- El espesor promedio correspondiente a todas las determinaciones hechas en el tramo será igual a 0.98 cm del espesor de proyecto mayor

$$\bar{e} \geq 0.98e$$

Dónde:

e = Espesor de proyecto (cm)

$\bar{e}$ = Espesor promedio correspondiente a todas las determinaciones hechas en el tramo (cm) obteniendo mediante la siguiente formula:

$$\bar{e} = \frac{\sum_{i=1}^n ei}{n}$$

Dónde:

ei = Espesor obtenido en cada determinación (cm)

n= Número de determinaciones hechas en el tramo

H.3.7.- La desviación estándar de todos los espesores determinados en el tramo será igual a 0.10 del espesor promedio o menor.

$$\delta e \leq 0.10\bar{e}$$

Dónde:

δe = Desviación estándar correspondiente a todas las determinaciones hechas en el tramo, (cm) calculada con la siguiente fórmula:

$$\delta e = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (ei - \bar{e})^2}{n - 1} \right]^{1/2}$$

$\bar{e}$, e y n tienen el significado indicado en el inciso anterior.

H.4 Resistencia a la Fricción.

Cuando el proyecto no establezca la construcción de una capa de podadura con mezcla asfáltica en caliente o en frío sobre la carpeta asfáltica.

H.4.1.- Que la superficie de rodadura de la carpeta asfáltica de granulometría densa compactada, haya tenido una resistencia a la fricción en condiciones de pavimento mojado igual a 0.6 o mayor medida con el equipo Mu-Meter a una velocidad de 75 km por hora por lo menos sobre la huella de la rodada externa de cada franja de tendido. La prueba se hará sobre la superficie de rodadura compactada y en su caso corregida.

H.4.2.- Cuando la resistencia a la fricción de una carpeta asfáltica de granulometría densa compactada sea menor (O.G) el contratista de obra por su cuenta y costo corregirá la superficie terminada mediante la colocación de una capa de rodadura de un riego. Las capas de rodadura de un riego en tramos no menores de 50 m y a todo el ancho de la calzada, en carreteras de dos carriles de un mismo sentido en carreteras con carriles múltiples.

H.5.- Limpieza de la Superficie del Pavimento.

Que una vez terminada la carpeta asfáltica de granulometría densa la superficie de pavimento esté limpia.

I.- Medición.

Cuando la construcción de carpetas asfálticas de granulometría densa se contrate a precios unitarios por unidad de obra terminada y sea ejecutada conforme a satisfacción de la secretaría. Para determinar el avance o la cantidad de trabajo realizado para efecto de pago tomando como unidad el metro cubico de carpeta terminada, según su tipo y para cada banco en particular, con aproximación a la unidad. El volumen de cada tramo (1 km) o fracción, se determinara con la siguiente formula:

$$V = L = \bar{e} \times \bar{a}$$

Dónde:

V = Volumen de la carpeta asfáltica de granulometría densa de cada tramo de 1 km o fracción (m^3).

L = Longitud tramo (m)

$\bar{e}$ = Espesor promedio correspondiente a todas las determinaciones hechas en el tramo (m) obtenido como se indica en el inciso H.3.6 de esta norma.

$\bar{a}$ = Ancho promedio de la carpeta asfáltica de granulometría densa obtenido con base en las distancias entre el eje y las orillas de la carpeta asfáltica determinadas en todas las secciones del tramo.

La secretaría medirá y pagará como máximo el volumen de la carpeta asfáltica de granulometría densa que resulte con el espesor de proyecto más (1 cm) por el ancho de proyecto más (1 cm).

Para el cálculo del volumen e importe por pagar en cada tramo se puede usar el formato que se muestra en la Tabla No.3 de esta norma.

Tabla No.VIII Formato para el cálculo de los volúmenes, los estímulos o sanciones e importes por pagar

<i>Tramo</i> ^[1]		L m	$\bar{e}$ m	$\bar{a}$ m	V m^3	PU \$	Importe \$ ^[2]	$\bar{F}$	E \$
del km	al km								
+	+								
+	+								
+	+								
+	+								
+	+								

Sumas = \$ \$

Importe total = \$

L = Longitud del tramo correspondiente

$\bar{e}$ = Espesor promedio del tramo correspondiente (espesor del proyecto más 1 cm como máximo)

$\bar{a}$ = Ancho promedio del tramo correspondiente (ancho del proyecto más 1 cm como máximo)

V = Volumen del tramo correspondiente ($V = L \times \bar{e} \times \bar{a}$)

PU = Precio unitario de la carpeta asfáltica de granulometría densa

$\bar{F}$ = Factor promedio de estímulo o sanción del tramo correspondiente, obtenido de la tabla 5

E = Estímulo o sanción para el tramo correspondiente ($E = V \times PU \times \bar{F}$)

[1] = Tramo de 1 km o fracción

[2] = Importe de la carpeta asfáltica de granulometría densa (Importe = $V \times PU$)

J.- Bases de Pago.

- Cuando la construcción de carpetas asfálticas de granulometría densa se contrate a precios unitarios por unidad de obra terminada y sea medida de acuerdo con lo indicado en la cláusula 1 de esta norma se pagara al precio fijado en el contrato para el metro cúbico de carpeta asfáltica terminada en cada tramo (1 km) o fracción según su tipo y para cada bando en particular.
- Valor de adquisición o producción de los materiales asfálticos para la carpeta asfáltica de granulometría densa y para los riegos de impregnación y ligas, así como los aditivos y en su caso las fibras que se requieran incluyendo mermas y desperdicios. Limpieza en el tanque que lo transporte, movimientos en la planta de producción y en el lugar de destino, carga al equipo de transporte, transporte al lugar de almacenamiento, descarga en el depósito, carga por almacenamiento y todas las operaciones de calentamiento y bombeo requeridos.
- Desmonte y despalme de los bancos, extracción del material pétreo aprovechable y del desperdicio cuales quiera que sean sus clasificaciones, cribados y desperdicios de los cribados, trituración total o parcial, lavado o eliminación del polvo superficial adherido a los materiales, cargas descargas y todos los acarreos de los materiales y de los desperdicios; formación de los almacenamientos y clasificación de los materiales pétreos separándolos por tamaños.
- Instalación, alimentación y desmantelamiento de las plantas.
- Secado del material pétreo, dosificación, calentamiento y mezclado de los materiales pétreos, asfálticos aditivos y en su caso fibras para mezclas en caliente.
- Dosificación y mezclado de los materiales pétreos asfálticos y aditivos y, en su caso fibras para mezclas en frío.
- En su caso, fresado de la superficie sobre la que construirá la carpeta asfáltica de granulometría densa.
- En su caso de recorte de carpeta original sobre la que se construirá la carpeta asfáltica de granulometría densa.
- Barrido y limpieza de la superficie sobre la que se construirá la carpeta asfáltica de granulometría densa.
- En su caso aplicación de riego de impregnación.

- Aplicación de riego de liga.
- Cargas en la planta de la mezcla asfáltica al equipo de transporte, acarreo al lugar de tendido.
- Tendido y compactación de la mezcla asfáltica.
- Equipo de alumbrado y su operación.
- Limpieza de la superficie del pavimento.
- Los tiempos de los vehículos empleados en los transportes de todos los materiales durante las cargas y descargas.
- La conservación de la carpeta asfáltica de granulometría densa hasta que sea recibida por la secretaría.
- Y todo lo necesario para la correcta ejecución de este concepto excepto el señalamiento de protección ya que se pagará por separado.

Cuando procedan estímulos por mejoramiento de calidad o sanciones por incumplimiento de calidad de acuerdo con los índices de perfil de la carpeta asfáltica de granulometría densa se pagara al contratista de obra una bonificación o se le hará una deducción según corresponda, calculada para un tramo (1 km o fracción) medido como se indica en la cláusula 1 de esta norma mediante la siguiente fórmula:

$$E = VxPux\bar{F}$$

Dónde:

E = Estimulo por pagar como bonificación cuando resulta positivo o sanción aplicada como deducción cuando resulta negativo, por cada tramo (1 km o fracción).

V = Volumen de la carpeta asfáltica de granulometría densa del tramo (m^3).

P_u = Precio unitario de la carpeta asfáltica de granulometría densa fijado en el contrato (\$ m^3).

$\bar{F}$ = Factor promedio de estímulo o sanción del tramo promedio aritmético de los factores de estímulo o sanción (f_j) para cada subtramo (200 m) en cada franja de tendido tomadas de la Tabla No. 4 de esta norma.

Para calcular el factor promedio de estímulo o sanción ($\bar{F}$) se puede utilizar el formato que se muestra en la Tabla No. 5 en el que para cada franja de tendido y subtramo se anota el factor de estímulo o sanción (F_j) tomado de la Tabla No. 4 de acuerdo al índice de perfil (I_p) obtenido de la Tabla No. 1 y se calcula en promedio aritmético de todos los factores de estímulo o sanción (F_j) de cada tramo que se anota en la última columna del formato en el cuadro correspondiente. Para subtramos que hayan sido corregidos como se indica en el inciso H.2.5 el factor de estímulo o sanción (F_j) correspondiente se determina con base al índice del perfil (I_{pc}) franjas de tendido; al formato se le agregan las columnas que sean necesarias para completar el número de franjas de tendido.

Tabla No.IX Factores de Estimulo o Sanción, según el Índice de perfil

Índice de perfil * cm / km	Factores de estímulo o sanción (F_j)	
10,0 o menos	Estímulo	+0,05
10,1 a 14,0		+0,04
14,1 a 18,0		+0,03
18,1 a 22,0		+0,02
22,1 a 26,0		+0,01
26,1 a 31,0	0	
31,1 a 34,0	Sanción	-0,02
34,1 a 37,0		-0,04
37,0 a 40,0		-0,06
40,1 a 43,0		-0,08
43,1 a 46,0		-0,10
Mayor de 46,0	CORREGIR	

* Para cada tramo de 200 m o fracción en cada franja de tendido

A sí mismo para calcular el estímulo o la sanción (E) de cada tramo, se puede usar la Tabla No.3 en los que se anotan los factores promedio de estímulo o sanción (F) correspondiente calculados en la Tabla No.5 de esta norma.

K.- Estimación y Pago.

La estimación y pago de las carpetas asfálticas de granulometría densa se efectuara de acuerdo a lo señalado en la cláusula 6 de la Norma N.LEG.3 (Ejecución de Obras).

Tabla No.X Formato para el cálculo del factor promedio de estímulo o sanción de cada tramo

Mes: Año:

Tramo ^[1]		Subtramo ^[2]		Franja de tendido 1			Franja de tendido 2			$\bar{F}$
del km	al km	del km	al km	Día ^[3]	I_p cm/km	(F_j)	Día ^[3]	I_p cm/km	(F_j)	
+ —	+ —	+ —	+ —							
		+ —	+ —							
		+ —	+ —							
		+ —	+ —							
		+ —	+ —							
+ —	+ —	+ —	+ —							
		+ —	+ —							
		+ —	+ —							
		+ —	+ —							
		+ —	+ —							
+ —	+ —	+ —	+ —							
		+ —	+ —							
		+ —	+ —							
		+ —	+ —							
		+ —	+ —							

I_p = Índice de perfil del subtramo y franja de tendido correspondientes, obtenido de la Tabla 1. Para subtramos que hayan sido corregidos como se indica en el inciso H.2.5. de esta Norma, se utiliza el índice de perfil (I_{p_c}) logrado después de la corrección

F_j = Factor de estímulo o sanción para el subtramo y franja de tendido correspondientes, obtenido de la Tabla 4.

$\bar{F}$ = Factor promedio de estímulo o sanción. Promedio aritmético de los F_j del tramo correspondiente

[1] = Tramo de 1 km o fracción

[2] = Subtramo de 200 m o fracción

[3] = Día en el que se construyó o corrigió la carpeta asfáltica con mezcla en caliente

L.- Recepción de la Obra.

Una vez concluida la construcción de la carpeta asfáltica de granulometría densa, la secretaría la aprobará y al término de la obra cuando el tramo sea operable lo recibirá conforme a lo señalado.



Imagen 01. Equipo de compactación.



Imagen 02. Equipo de tendido Finisher.



Imagen 03. Barrido de la superficie impregnada.



Imagen 04. Acarreo de la arena a la orilla del camino.



Imagen 05. Limpieza de arena a orilla del camino.



Imagen 06. Compactación de la carpeta asfáltica.



Imagen 07. Aplicación de riego de liga.



Imagen 08. Vaciado de mezcla asfáltica a equipo de tendido.



Imagen 09. Tendido de carpeta asfáltica.



Imagen 10. Limpieza de corte para el segundo tendido.



Imagen 11. Terminado de la primera ala.



Imagen 12. Tendido de la carpeta asfáltica.



Imagen 13. Acabado de la superficie.



Imagen 14. Realizando tendido con el equipo.



Imagen 15. Acabado de la superficie de la carpeta asfáltica.



Imagen 16. Aplicación de emulsión para riego de sello.



Imagen 17. Colocación del sello 3ª.



Imagen 18. Compactación del riego de sello.



Imagen 19. Textura de la superficie del riego de sello.



Imagen 20. Acabado del riego de sello.



Imagen 21. Terminación de la carpeta asfáltica.



Imagen 22. Tendido de carpeta asfáltica.



Imagen 23. Planta para elaboración de carpeta asfáltica en caliente.



Imagen 24. Riego de liga con emulsión R.M. para alojar la carpeta asfáltica previo poreo.

4. Conclusiones.

En el presente trabajo se hace una revisión del tema de las emulsiones asfálticas, haciendo énfasis en la importancia que estas tienen en la moderna tecnología del proceso de asfaltado en las carreteras.

Aquí se muestra la importancia de este tema desde el punto de vista tecnológico, resolviendo las variables importantes en la fabricación de las emulsiones asfálticas. Estas tienen un sinnúmero de ventajas sobre el asfalto caliente o 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 si no que también mejora la adhesión del asfalto con el material petreo con un consecuente incremento en el tiempo de su vida de la carpeta asfáltica y una mayor seguridad para el usuario de las mismas.

Es muy importante mencionar que una vez que se tiene la emulsión que se requiere para aplicarla tanto en la elaboración de carpeta, riego de sello o impregnación, es muy importante aplicarla como lo marcan las normas, es decir, se va a sellar, tomar en cuenta la proporción que se indica en el proyecto que es de 1.5 a 1.8 lts/m² para tener un sello adecuado, cuidando también la proporción de sello que nos dice que es de 10 a 12 lts/m² y también cuidando la calidad del sello 3-A.

En caso de impregnación se debe tener en cuenta la proporción que indica el proyecto que es de 1.5 lts/m² previamente teniendo una base hidráulica limpia y con una humedad homogénea, después se debe aplicar el poreo con arena con una proporción de 10 lts/m² con un camión volteo.

En el caso de las mezclas asfálticas ya sean elaboradas en el lugar con moto-conformadora o en planta, se debe tener la granulometría adecuada que es de ¾ a finos, y además el peso volumétrico recomendado por laboratorio y tener la humedad optima y lo mas importante, la cantidad de litros recomendada por el departamento de control de calidad, laboratorio, cuidando estos aspectos tendremos una carpeta durable.

En caso de la mezcla en caliente utilizando material asfalto (AL-20) ya sea con polímero, asfalto – hule, asfalto modificado compuesto asfalto. Primeramente se debe tener la calidad del asfalto, posteriormente, la calidad del material, y que la planta tenga la proporción de material asfalto que se debe mezclar con el material petreo, una vez elaborada la carpeta asfáltica es muy importante cuidar la temperatura que llegue a la obra para tener un tendido adecuado y por ende una carpeta durable.

4 CONCLUSIONES

1. X. Lu and U. Isacsson, "Characterization of Styrene-Butadiene-Styrene Polymer Modified Butimens-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 Charge 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 (1955)
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 SHPR". 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