



DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA FACULTAD DE INGENIERÍA U. N. A. M.



CURSO:	CI087	ASFALTO URBANO		
INSTRUCTOR:	ING LIBORIO JULIAN BRAVO MARTÍNEZ		PERIODO / HORARIO	
INSTITUCIÓN:	GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL DELEGACIÓN XOCHIMILCO		Martes, 26 de Junio de 2007	08 00
SEDE:	CALLE CAPULIN S/N, CAMPAMENTO CAPULINES		Jueves, 26 de Julio de 2007	11 00

EVALUACIÓN:

EVALUACIÓN AL PERSONAL DOCENTE:	EVALUACIÓN DE LA COORDINACIÓN EN CUANTO A:
CONCEPTO	CONCEPTO
1 Muestra completo dominio del tema	1 La Coordinación del curso fue cordial y eficiente
2 Comunica a los participantes al inicio del curso o modulo los objetivos, contenidos, estructura del curso y la evaluación	2 Atendió oportunamente las eventualidades surgidas durante el curso
3 El lenguaje utilizado por el instructor fue sencillo y comprensible	3 Cumplió con el Protocolo de Inauguración y Clausura del curso
4 Responde a las preguntas de los participantes de acuerdo con los contenidos del curso, el contexto laboral, proporcionando el intercambio de ideas	
5 Motiva al grupo para mantener su participación durante el curso	
6 Resuelve las contingencias durante el proceso de enseñanza - aprendizaje con base en los objetivos del curso y las necesidades de aprendizaje del grupo	
7 Las sesiones están perfectamente planeadas y organizadas de acuerdo al nivel del grupo	
8 Las actividades durante las sesiones despertaron en general el interés del grupo	
	APRECIACIÓN GLOBAL:
	CONCEPTO
	1 En que medida despertó el curso, su interés e inquietudes para conocer más sobre el tema
	2 Considera que la duración del curso fue la más adecuada
	3 Que otros cursos sugiere para mejorar el desempeño laboral y superación personal de sus compañeros y el propio
	4 Considera usted que el curso que tomó le ayuda a desempeñar mejor su trabajo <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO Por que (Comentarios)
	COMENTARIOS Y SUGERENCIAS:

EVALUACIÓN DEL CURSO:

CONCEPTO	CALIFICACIÓN
1 Se cumplieron los objetivos del curso	
2 Hubo orden y secuencia en los temas	
3 Organización y desarrollo del curso	
4 Nivel logrado en el curso	
5 Actualización del curso	
6 Aplicación práctica del curso	
7 Obtuvo teorías nuevas	
8 Obtuvo ideas y/o técnicas nuevas	



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA

CURSOS INSTITUCIONALES

ASFALTO URBANO

Del 26 de Junio al 26 de Julio de 2007

APUNTES GENERALES

CI - 087

Instructor: Ing. Julián Bravo Martínez
DELEGACIÓN XOCHIMILCO

Junio/Julio de 2007

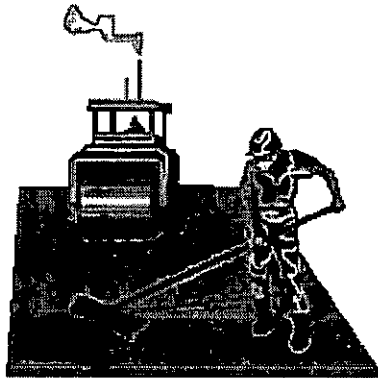
Palacio de Minería, Calle de Tacuba No. 5. Primer piso, Delegación Cuauhtémoc, CP 06000, Centro Histórico, México D.F.,
APDO Postal M-2285 • Tels: 5521 4021 al 24, 5623.2910, y 5623.2971 • Fax: 5510.0573

ASFALTO URBANO

OBJETIVO DEL MÓDULO I.- Que los participantes reconozcan los tipos y características de los pavimentos flexibles y rígidos, su proceso de producción, almacenamiento y transporte.

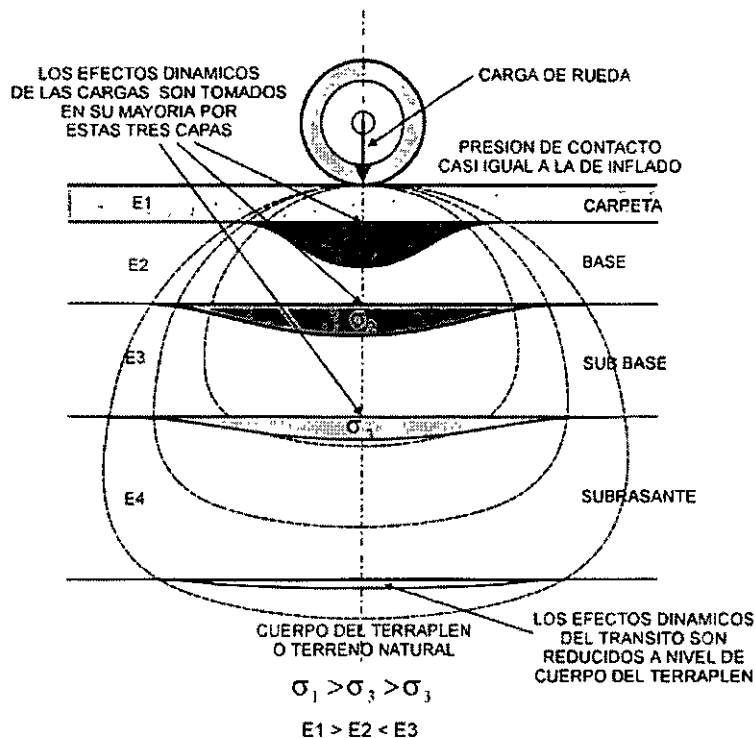
DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RÍGIDOS

Comprender las funciones de los diferentes tipos de pavimentos, las bases y procedimientos para, la construcción y mantenimiento de los mismos; así como los criterios para la selección de materiales.



Pavimento.- Estructura formada por una o mas capas de material pétreo tratado, cuya función es la de proporcionar al usuario un transito cómodo, seguro y rápido, al costo mas bajo posible.

Se llama pavimento al conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas del transito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente. Las condiciones necesarias para un adecuado funcionamiento son las siguientes: anchura, trazo horizontal y vertical, resistencia adecuada a las cargas para evitar las fallas y los agrietamientos, además de una adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento aun en condiciones húmedas. Deberá presentar una resistencia adecuada a los esfuerzos destructivos del transito, de la intemperie y del agua. Debe tener una adecuada visibilidad y contar con un paisaje agradable para no provocar fatigas.



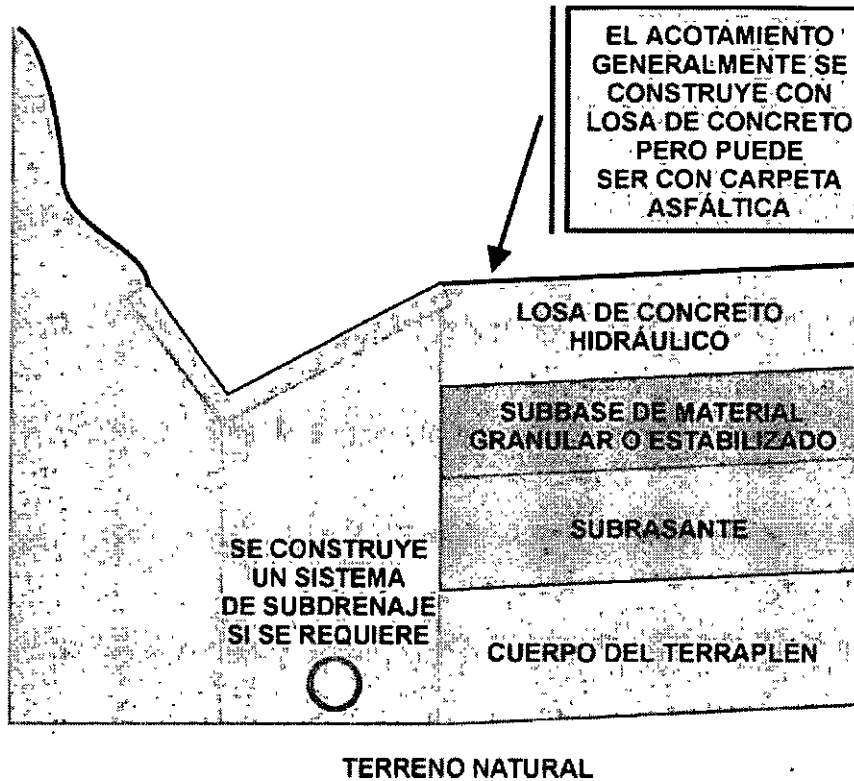
Puesto que los esfuerzos en un pavimento decrecen con la profundidad, se deberán colocar los materiales de mayor capacidad de carga en las capas superiores, siendo de menor calidad los que se colocan en las terracerías además de que son los materiales que más comúnmente se encuentran en la naturaleza, y por consecuencia resultan los más económicos.

La división en capas que se hace en un pavimento obedece a un factor económico, ya que cuando determinamos el espesor de una capa el objetivo es darle el grosor mínimo que reduzca los esfuerzos sobre la capa inmediata inferior. La resistencia de las diferentes capas no solo dependerá del material que la constituye, también resulta de gran influencia el procedimiento constructivo; siendo dos factores importantes la compactación y la humedad, ya que cuando un material no se acomoda adecuadamente, éste se consolida por efecto de las cargas y es cuando se producen deformaciones permanentes.

TIPOS DE PAVIMENTO.

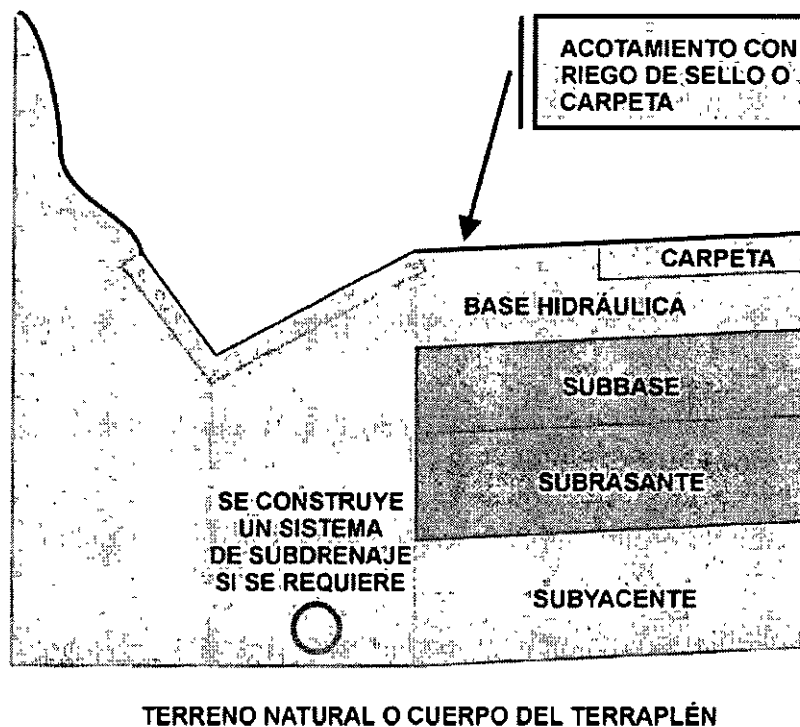
1. Flexibles.- Tienen carpetas asfálticas.
2. Rígidos.- Carpeta de concreto hidráulico.
3. Semiflexibles.- Tienen capas estabilizadas con asfalto.
4. Semirígidos.- Tienen capas estabilizadas con cemento Pórtland.
5. Otros.- Empedrados, adoquín, estampado.

El pavimento rígido se compone de losas de concreto hidráulico que en algunas ocasiones presenta un armado de acero, tiene un costo inicial más elevado que el flexible, su periodo de vida varía entre 20 y 40 años; el mantenimiento que requiere es mínimo y solo se efectúa (comúnmente) en las juntas de las losas.



El pavimento flexible resulta más económico en su construcción inicial, tiene un periodo de vida de entre 10 y 15 años, pero tienen la desventaja de requerir mantenimiento constante para cumplir con su vida útil. Este tipo de pavimento está compuesto principalmente de una carpeta asfáltica, de la base y de la sub-base.

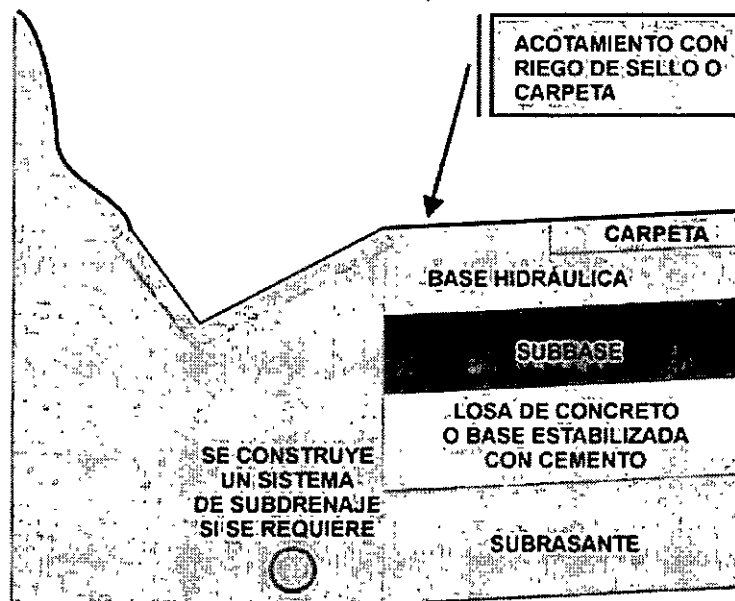
Aunque bajo el término de pavimento flexible pueden haber muchos arreglos estructurales diferentes, en México la estructura más típica es la siguiente:



Pavimento semiflexible constituido por una carpeta de mezcla asfáltica, sobre capas granulares tratadas con cemento asfáltico.

Pavimento semirrígido constituido por un pavimento asfáltico de cualquier espesor sobre una o más capas tratadas con cemento hidráulico, con espesor conjunto de éstas igual o superior a 18 cm y cuyo comportamiento garantice todavía una contribución significativa a la resistencia estructura.

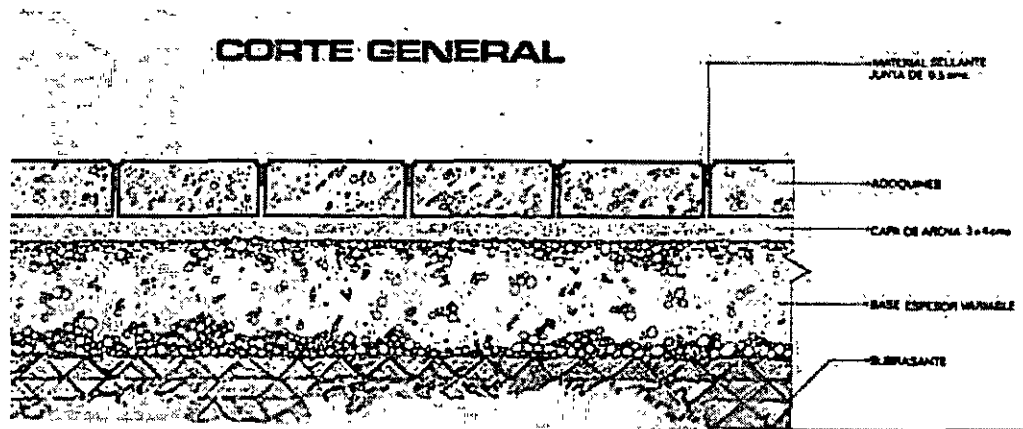
Pavimentos con sección invertida. Normalmente la resistencia de las capas en un pavimento, y más concretamente, su módulo de elasticidad, es mayor para las capas superiores y menor en las inferiores, pero existen condiciones en las que se requiere que la capa inferior sea bastante rígida, esto sucede cuando el terreno natural o las terracerías varían frecuentemente pasando de materiales blandos y deformables a más estables y resistentes, o cuando de plano, el terreno natural y las terracerías ofrecen muy baja resistencia, en estos casos se requeriría una muy gruesa estructura de pavimento y probablemente ésta no resolvería del todo el problema, en cambio, si arriba de la capa subrasante se construye una capa de materiales granulares estabilizada con cemento Pórtland, se lograría abatir el espesor del pavimento y asegurar un mejor comportamiento dada la rigidez de esta capa. A este tipo de sección se le conoce como pavimento de sección invertida.



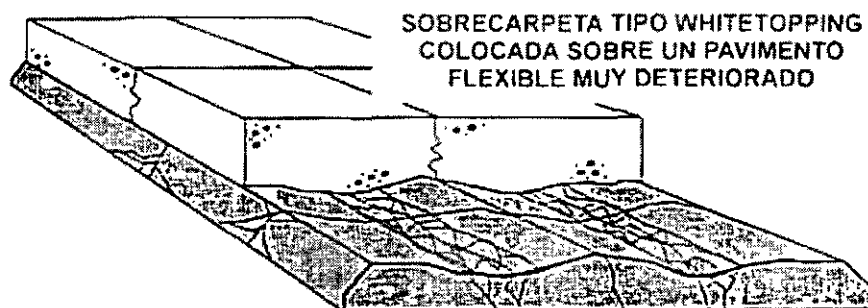
TERRENO NATURAL O CUERPO DEL TERRAPLÉN

Pavimentos adoquinados. Se clasifican dentro de los llamados pavimentos flexibles, con la diferencia de que la superficie de rodamiento es el adoquín, el empedrado o enladrillado, y se construyen principalmente por razones arquitectónicas u ornamentales en fraccionamientos y poblaciones tradicionalistas; este tipo de pavimento se utilizó extensamente hasta antes del advenimiento de las mezclas asfálticas, (mezclas bituminosas) pero no hay que despreciar su buen comportamiento, durabilidad y otras ventajas, como son las de permitir reparar servicios subterráneos o introducir otros nuevos removiendo simplemente las piezas, rellenando las excavaciones y volviendo a colocar el adoquín. La famosa pista de las "500 millas de Indianápolis", funcionó por muchos años con este tipo de superficie permitiendo altas velocidades; la "Vía Apia" que

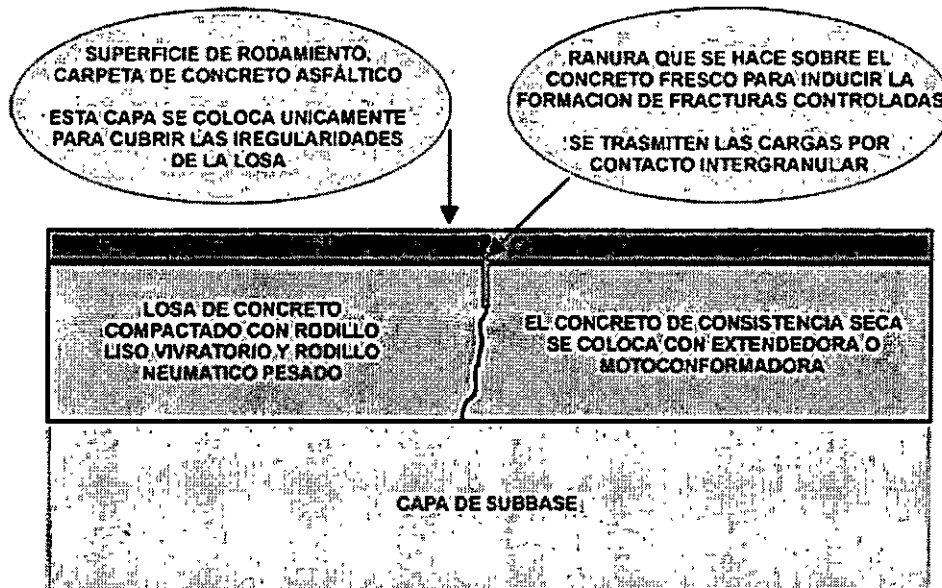
servió a la legiones romanas para mantener su imperio, todavía tiene tramos en operación usados por automóviles. Los adoquines pueden ser naturales, de piedra labrada o de concreto hidráulico, también pueden usarse ladrillos industriales, de barro cocido o de concreto hidráulico. Estas piezas se colocan manualmente sobre la base usando una cama de arena para su asiento y nivelación, lo que representa un trabajo artesanal que es su principal desventaja y causa de su desuso.



Pavimentos compuestos. Ya se ha dicho que debajo de una losa de concreto hidráulico se pueden colocar una o varias capas de mezcla asfáltica, este sería el caso de un pavimento flexible sobre el que se coloca una losa de concreto hidráulico, técnica conocida como "White Topping". También al contrario, sobre las losas de concreto hidráulico se colocan carpetas asfálticas que funcionan como superficies de rodamiento o como capas estructurales cuando las losas están dañadas; un caso especial de este tipo lo constituyen los pavimentos de "Concreto Compactado con Rodillo", esta gruesa capa colocada sobre la subrasante sólo requiere de una carpeta asfáltica para operar cómodamente.



Pavimento tipo "White Topping."



EL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS ALCANZA PROPIEDADES COMO MÓDULO DE ELASTICIDAD, RESISTENCIA A LA TENSIÓN POR FLEXIÓN Y RESISTENCIA A LA FATIGA SIMILARES AL CONCRETO NORMAL.

Concreto compactado con rodillo

VENTAJAS Y DESVENTAJAS ENTRE PAVIMENTOS RÍGIDOS Y FLEXIBLES

CARACTERÍSTICA	PAVIMENTO FLEXIBLE	PAVIMENTO RÍGIDO
PROYECTO	Ventaja Existe mayor experiencia en los métodos de diseño de estos pavimentos	Desventaja Existe poca experiencia en el diseño de estos pavimentos
CAPACIDAD ESTRUCTURAL	Desventaja La resistencia estructural es relativamente limitada y susceptible a deterioros a corto plazo	Ventaja La resistencia estructural es alta y su deterioro es a largo plazo
DISPONIBILIDAD DE EQUIPO	Ventaja Mayor disponibilidad de equipos	Desventaja Los equipos son más especializados, de alto costo y requieren de operadores mejor calificados
DISPONIBILIDAD DE MATERIALES	Ventaja Mayor disponibilidad de materiales	Desventaja Los materiales requieren de mayores tratamientos para ajustarse a los requerimientos de calidad necesarios
COSTO INICIAL	Ventaja Se considera relativamente bajo	Desventaja El costo actual se estima de aproximadamente un 30% mayor que el flexible

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO	Ventaja Son procedimientos constructivos sencillos	Desventaja Son procedimientos constructivos que requieren mayores cuidados
TIEMPO DE APERTURA AL TRÁNSITO	Ventaja La apertura se puede hacer de forma inmediata	Desventaja Se requiere que la resistencia del concreto hidráulico sea de por lo menos el 85% de proyecto, para permitir el tránsito
COSTO DE MANTENIMIENTO	Desventaja Es mayor	Ventaja Es menor
VIDA ÚTIL	Desventaja Es menor	Ventaja Es mayor
NOTA.- A largo plazo, se considera más económico el pavimento rígido, por tener una vida de servicio mayor y un menor costo de mantenimiento que el flexible		

Terracerías revestidas. Los caminos rurales con menos de 100 vehículos diarios pueden manejarse con el sistema conocido como terracerías revestidas. Este tipo de pavimentos ha funcionado muy bien por muchos años en las grandes planicies de los Estados Unidos de Norteamérica, en este país llegó a usarse mano de obra de prisioneros para triturar roca a mano sobre la cama de las terracerías, posteriormente con métodos más mecanizados se colocaron gruesas capas de roca triturada a las que se les llamó "Macadam" y más adelante esta roca se ligó con asfalto rebajado (bitumen) llamándosele Macadam de penetración, los caminos revestidos con gruesas capas de roca triturada continúan usándose y existen métodos de diseño para este tipo de pavimentos para caminos de bajos volúmenes de tránsito, como el de la National Crushed Stone Association (NCSA) y la guía de diseño de pavimentos de la AASHTO. En México el revestimiento de caminos no es considerado como un pavimento formal pero se cuenta con una mayor longitud de caminos revestidos que pavimentados. El revestimiento en México consiste en una capa de grava – arena, bien graduada con pocos finos colocada o extendida a mano o con maquinaria, con un espesor de 10 a 20 cm. Ocasionalmente este revestimiento se compacta.

Terracería. Se llama terracería al conjunto de obras compuestas de cortes y terraplenes, formadas principalmente por la capa sub-rasante y el cuerpo del terraplén, constituida generalmente por materiales no seleccionados y se dice que es la subestructura del pavimento. Cuando se va a construir un camino que presente un TPDA (Tránsito Promedio Diario Anual) mayor a 5000 vehículos, es necesario que se construya bajo la sub-rasante una capa conocida como sub-yacente; la cual deberá tener un espesor mínimo de 50 cm.

Los movimientos de tierra permiten formar cortes y terraplenes de manera compensada, la práctica de formar terraplenes mediante prestamos laterales ya está en desuso, algunos volúmenes adicionales tendrán que ser traídos de bancos de materiales, especialmente los que se requieran para formar la capa de subrasante, en estos trabajos, los factores más importantes a considerar son los siguientes

Clasificación del material en la excavación de cortes y de bancos de materiales desde el punto de vista de su dificultad de extracción.

- **Tipo "A"**, pueden ser excavados fácilmente con herramientas manuales.
- **Tipo "B"**, suelos duros o con fragmentos, algunas rocas suaves, se requiere maquinaria.
- **Tipo "C"**, roca que no puede ser atacada con tractor, para aflojarla o fragmentarla se siempre se requieren explosivos o martillos.

Clasificación del material extraído con fines de compactación.

- Compactable
- No compactable

Selección de materiales para formación de terraplenes y desperdicio de los no aprovechables.

Selección de sitios para bancos de materiales.

Formación de terraplenes, aproches y capa de subrasante.

BANCOS DE PRESTAMO

Generalmente el material que se emplea en un terraplén es el que se encuentra sobre la misma vía producto de cortes o préstamos laterales. Los bancos deberán contener como mínimo 10,000m³ de material para que sea explotable en forma económica. Los bancos para sub-rasante deberán ser homogéneos, y de esta manera evitar que los espesores del pavimento varíen con demasiada frecuencia, los podemos encontrar en formaciones de roca muy alterada o en bancos arenosos estratificados.

Tipos de bancos de préstamo:

- Longitudinales: son producto de los cortes.
- Laterales: distancia al eje del camino de hasta 20 metros.
- Banco de préstamo: distancia al eje del camino de hasta 100 m. Más de 10 Km. No es costeaible.

CLASIFICACION DE LOS MATERIALES GRUESOS SEGÚN LA SCT (SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES)

Se llama roca a toda formación que tenga un diámetro mayor de 2m.

FRG $f < 2.00 > 0.75$ m

FRM $f < 0.75 > 0.20$ m

FRCH $f < 0.20 > 0.075$ m que es el f de la malla # 3

Todo lo que pase la malla de 3" se considera como un suelo

FRG = Fragmento de roca grande.

FRM = Fragmento de roca mediana.

FRCH = Fragmento de roca chica.

CARACTERISTICA DE BASES Y SUB-BASES

De acuerdo con el criterio usado en la actualidad se tiene que para carreteras con un tránsito menor a 1000 vehículos pesados, se recomienda que el espesor de la bases sea de 12 cm. Y cuando el tránsito sea mayor, se recomienda que el espesor mínimo sea de 15cm. Para las sub-bases la SCT recomienda un espesor mínimo de 10 cm.

LAS FUNCIONES DE ESTAS CAPAS SON:

SUB-BASE. Cumple una cuestión de economía ya que nos ahorra dinero al poder transformar un cierto espesor de la capa de base a un espesor equivalente de material de sub-base (no siempre se emplea en el pavimento), impide que el agua de las terracerías ascienda por capilaridad y evitar que el pavimento sea absorbido por la sub-rasante. Deberá transmitir en forma adecuada los esfuerzos a las terracerías.

BASE. Es la capa que recibe la mayor parte de los esfuerzos producidos por los vehículos. La carpeta es colocada sobre de ella porque la capacidad de carga del material friccionante es baja en la superficie por falta de confinamiento. Regularmente esta capa además de la compactación necesita otro tipo de mejoramiento (estabilización) para poder resistir las cargas del tránsito sin deformarse y además de transmitir las en forma adecuada a las capas inferiores. El valor cementante en una base es indispensable para proporcionar una sustentación adecuada a las carpetas asfálticas delgadas. En caso contrario, cuando las bases se construyen con materiales inertes y se comienza a transitar por la carretera, los vehículos provocan deformaciones transversales. En el caso de la granulometría, no es estrictamente necesario que los granos tengan una forma semejante a la que marcan las fronteras de las zonas, siendo de mayor importancia que el material tenga un VRS (valor relativo de soporte) y una plasticidad mínima; además se recomienda no compactar materiales en las bases que tengan una humedad igual o mayor que su límite plástico.

MATERIALES PARA SUB-BASE Y BASE

Los materiales para sub-base y base estarán sujetos a los tratamientos mecánicos que lleguen a requerir para cumplir con las especificaciones adecuadas, siendo los más usuales: la eliminación de desperdicios, el disgregado, el cribado, la trituración y en algunas ocasiones el lavado, los podemos encontrar en cauces de arroyos de tipo torrencial, en las partes cercanas al nacimiento de un río y en los cerros constituidos por rocas andesíticas, basálticas y calizas. Es de gran importancia conocer el tipo de terreno con el que se va a trabajar ya que en base a esto se elige el tipo de maquinaria y el personal suficiente para trabajar en forma adecuada. El material que se manda del banco para efectuar el análisis correspondiente, deberá traer las etiquetas adecuadas y al llegar a laboratorio se le efectuará un secado, su disgregación y se le cuarteará. En pavimentos se realizan básicamente 3 tipos de ensayos que serán para clasificar el suelo, para controlar la obra y para proyectar el espesor y los porcentajes óptimos de aglutinante de las diferentes capas que se enlistan a continuación:

TERRAPLEN.

- Clasificación granulométrica, contenido de humedad, límites de Atterberg
- Control. Peso volumétrico seco máximo y grado de compactación

SUB-RASANTE

- Clasificación granulométrica, contenido de humedad, límites de Atterberg.
- Control. Peso volumétrico seco máximo y grado de compactación.
- Diseño. VRS, cuerpo de ingenieros de los EU y prueba de placa.

BASE Y SUB-BASE.

- Clasificación granulométrica, contenido de humedad, límites de Atterberg
- Control. Valor cementante, índice de durabilidad, PVSM, GC, equivalente de arena y expansión, adherencia con asfalto.
- Diseño. Prueba de placa, VRS, y cuerpo de ingenieros.

CARPETA ASFÁLTICA

- Clasificación granulométrica, contenido de humedad, límites de Atterberg
- Control. Adherencia con asfalto, equivalente de arena, intemperismo, forma de la partícula, desgaste, densidad y absorción. Todas las pruebas que se realizan a los asfaltos.
- Diseño. Marshall, HVEEM, Compresión simple.

FUNCIONES DE LOS MATERIALES**SUBRASANTE.**

La función de la sub-rasante es soportar las cargas que transmite el pavimento y darle sustentación, además de considerarse la cimentación del pavimento. Entre mejor calidad se tenga en esta capa el espesor del pavimento será más reducido y habrá un ahorro en costos sin mermar la calidad. Las características con las que debe cumplir son: f máximo de 3", expansión máxima del 5%, grado de compactación mínimo del 95%; espesor mínimo de 30cm para caminos de bajo tránsito y de 50cm en caminos con un TPDA > de 2000 vehículos. Otra de las funciones de la sub-rasante es evitar que el terraplén contamine al pavimento y que sea absorbido por las terracerías.

TERRAPLEN

La finalidad del cuerpo del terraplén es proporcionar la altura necesaria para cumplir con el proyecto, deberá resistir las cargas de las capas superiores y distribuirlas adecuadamente en el terreno natural. Por normatividad no se acepta material del tipo MH, OH, y CH cuando su límite líquido sea mayor del 80%, deberá tener un VRS mínimo de 5%. Si esta compuesto de rocas, se recomienda formar capas del espesor del tamaño máximo y se pasará un tractor de oruga en tres ocasiones por cada lugar con un movimiento de zig-zag que se conoce como bandeado, el grado de compactación mínima será del 90% y si es necesario realizar modelos en barrancas donde no es fácil el empleo del equipo, se permite que el material se coloque a volteo hasta una altura donde ya pueda operar la maquinaria. Se recomienda el compactador pata de cabra con equipo de vibrado y un peso aproximado de 20 a 30 toneladas.

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE BASES Y SUB-BASES

El primer paso consiste en ubicar el banco de préstamo, de donde se traerá el material, pudiendo emplearse en estas capas gravas, arenas de río, depósitos de roca (aglomerados) o materiales ligeramente o fuertemente cementados (conglomerados), se recomienda no usar tezontles ya que estos materiales tienden a desmoronarse y pueden provocar cambios volumétricos, en caso de que sea necesario su empleo deberán mezclarse con algún tipo de material fino como los tepetates (60% tepetate y 40% tezontle); en algunos casos se deberán aplicar tratamientos previos y estos podrán ser: el cribado, la trituración y en algunas ocasiones se les estabiliza en planta con cemento o con cal para darle mayor resistencia. Estos materiales son llevados a la obra, donde se acamellonan para poder llevar a cabo el cálculo del volumen y ver si existe algún faltante.

Cuando el material de banco tiene cierta humedad, ésta se calcula para saber si estamos por debajo o por encima de la humedad óptima de compactación, con ello logramos saber que cantidad de agua debemos adicionarle, o bien, voltear el material para que por evaporación pierda el agua sobrante. El material acamellonado se abre parcialmente y se humedece con una cantidad de agua cercana a la óptima, siendo para los caminos una humedad menor a la obtenida en laboratorio. El agua no se riega de una sola vez, sino que, se distribuye en varias pasadas, se hace un primer riego y la moto-niveladora abre una nueva cantidad de material, el cual coloca sobre el húmedo para que vuelva a pasar la pipa; esto se hace comúnmente en tres etapas, para después con la misma maquinaria, homogenizar la humedad. Cuando se llega a esto se distribuye el material en toda la corona para formar la capa con el espesor suelto necesario, debiendo cuidar que no se separe el material fino del grueso. Ya extendido se compacta con un rodillo liso o de neumáticos, o con una combinación de ambos hasta alcanzar el grado de compactación que marca el proyecto.

Cuando en las bases se alcanza la compactación de proyecto, ésta se deja secar superficialmente, se barre para retirar basura y partículas sueltas. Después de esto se le aplica un riego de emulsión asfáltica de fraguado lento o superestable que se conoce como riego de impregnación. Este elemento sirve para impermeabilizar y estabilizar la base y le ayudará a protegerla de la intemperie cuando no se va a colocar una carpeta en poco tiempo, además favorece la adherencia entre la base y la futura carpeta. La cantidad por regar variará de acuerdo con la abertura de poro que presente la base, para conocer cual es la cantidad adecuada se recomienda efectuar mosaicos de prueba, los cuales variarán de 0.6 a 1.2 lts/m² de emulsión. La SCT recomienda que este asfalto penetre dentro de la base de 3 a 5 mm, no debiendo quedar charcos o natas de asfalto que puedan desestabilizar la capa superior. "se recomienda no efectuar este tratamiento cuando amenace lluvia, cuando la temperatura sea menor de 5 ° C o bien, cuando exista mucho viento. La base impregnada puede abrirse al tránsito con un tiempo de reposo de 24 horas como mínimo, pero si lo ordena la secretaría se abrirá antes, esta capa se puede cubrir con arena para evitar que los vehículos se lleven la película de asfalto.

ESTABILIZACIÓN O MEJORAMIENTO DEL MATERIAL

La estabilización consiste en agregar un producto químico o aplicar un tratamiento físico logrando así que se modifiquen las características de los suelos. Se dice que es la corrección de una deficiencia para darle una mayor resistencia al terreno o bien, disminuir su plasticidad. Las tres formas de lograrlo son las siguientes:

FÍSICAS.

- Mezclas de suelos (común)
- Geotextiles (común)
- Vibroflotación (mecánica de suelos)
- Consolidación previa.
-

QUÍMICAS.

- Cal. Económica para suelos arcillosos (disminuye plasticidad)
- Cemento Pórtland para arenas o gravas finas (aumenta la resistencia)
- Productos asfálticos. Para material triturado sin cohesión (emulsión, muy usada)
- Cloruro de sodio. Para arcillas y limos (impermeabilizan y disminuyen los polvos)
- Cloruro de calcio Para arcillas y limos (impermeabilizan y disminuyen los polvos)
- Escorias de fundición. Comúnmente en carpetas asfálticas, dan mayor resistencia, impermeabilizan y prolongan la vida útil.
- Polímeros. Comúnmente en carpetas asfálticas, dan mayor resistencia, impermeabilizan y prolongan la vida útil.
- Hule de neumáticos. Comúnmente en carpetas asfálticas, dan mayor resistencia, impermeabilizan y prolongan la vida útil.

MECÁNICAS.

- Compactación.

El mejoramiento anterior regularmente se hace en la sub-base, base y en carpetas asfálticas.

A continuación se mencionan los tipos de estabilización más comunes en México.

GEOTEXTILES

Los geotextiles son telas permeables no biodegradables que pueden emplearse como filtros en sustitución de agregados graduados como estabilizadores de suelos blandos y como elementos para sustituir la erosión de suelos y el acarreo de azolves. Se emplean como elementos de distribución de cargas en los pavimentos, en los taludes y en los cortes, ayudan a proteger de la erosión. Comúnmente se tienen tres tipos que se conocen como *material entrelazado* en forma perpendicular, *materiales de telas unidas mediante un tejido de punto*, y los menos usuales que son los *materiales no tejidos*, se recomienda seguir el siguiente procedimiento constructivo:

La capa inferior a la colocación del geotextil deberá estar totalmente terminada, en suelos muy blandos se puede cortar la vegetación al ras y se deberán rellenar las depresiones, se deberá estirar el geotextil para que no haya arrugas, dándole el traslape adecuado. Cuando sea necesario rellenar este material se colocará por delante para que el equipo de construcción no toque directamente el producto, y cuando se vaya a ser usado como refuerzo, deberá pasársele un equipo pesado y darle al menos cuatro pasadas. Los geotextiles pueden aplicarse sobre pavimentos deteriorados de concreto hidráulico o

asfáltico para colocar una sobre-carpeta; si se emplea como refuerzo evita que las grietas existentes en el pavimento se reflejen en la sobre-carpeta, si se usa como impermeabilizante deberá agregársele asfalto para formar una barrera, el beneficio que se tiene al usar este producto es el aumentar su vida útil al pavimento, disminuyen los costos de mantenimiento e incrementa su periodo de vida.

ESTABILIZACIÓN CON CAL

Es un método económico para disminuir la plasticidad de los suelos y darle un aumento en la resistencia. Los porcentajes por agregar varían del 2 al 6% con respecto al suelo seco del material por estabilizar, con estos porcentajes se consigue estabilizar la actividad de las arcillas obteniéndose un descenso en el índice plástico y un aumento en la resistencia. Es recomendable no usar más del 6% ya que con esto se aumenta la resistencia pero también tenemos un incremento en la plasticidad. Los estudios que se deben realizar a suelos estabilizados con cal son: límites de Atterberg, granulometría, valor cementante, equivalente de arena, VRS, compresión. Además también se realizan estos estudios para suelos estabilizados con puzolanas, cloruro de sodio y calcio, y cemento Pórtland del tipo flexible.

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO EMPLEANDO CAL

La capa inferior a la que se va a estabilizar, deberá estar totalmente terminada, el mezclado puede realizarse en una planta adecuada o en campo, obteniéndose mejores resultados en el primer caso, la cual puede agregarse en forma de lechada, a granel o en sacada. Cuando se efectúa el mezclado en el campo, el material que se va a mejorar deberá estar disgregado y acamellonado, se abre una parte y se le agrega el estabilizador distribuyéndolo en el suelo para después hacer un mezclado en seco, se recomienda agregar una ligera cantidad de agua para evitar los polvos. Después de esto se agrega el agua necesaria y se tiende la mezcla debiendo darle un curado de hasta 48 horas de acuerdo con el tipo de arcilla de que se trate. Se tiende la mezcla y se compacta a lo que marca el proyecto para después aplicarle un curado final, el cual consiste en mantener la superficie húmeda por medio de un ligero rocío. Se recomienda no estabilizar cuando amenace lluvia o cuando la temperatura ambiente sea menor a 5° C, además se recomienda que la superficie mejorada se abra al tránsito vehicular en un tiempo de 24 a 48 horas.

ESTABILIZACIÓN CON CEMENTO PÓRTLAND.

Al mejorar un material con cemento Pórtland se piensa principalmente en aumentar su resistencia, pero además de esto, también se disminuye la plasticidad, es muy importante para que se logren estos efectos, que el material por mejorar tenga un porcentaje máximo de materia orgánica del 34%. Existen dos formas o métodos para estabilizar con cemento Pórtland, unas llamadas estabilizaciones del *tipo flexible*, en el cual el porcentaje de cemento varía del 1 al 4%, con esto solo se logra disminuir la plasticidad y el incremento en la resistencia resulta muy bajo, las pruebas que se les efectúan a este tipo de muestras son semejantes a las que se hacen a los materiales estabilizados con cal. Otra forma de mejorar el suelo con cemento, se conoce como *estabilización rígida*, en ella el

porcentaje de cemento varía del 6 al 14%, este tipo de mejoramiento es muy común en las bases, ya que resulta muy importante que éstas y la carpeta presenten un módulo de elasticidad semejante, ya que con ello se evita un probable fracturamiento de la carpeta, ya que ambos trabajan en conjunto; para conocer el porcentaje óptimo por emplear se efectúan pruebas de laboratorio con diferentes contenidos de cemento.

PRUEBAS PARA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS, PARA SU EMPLEO EN BASES Y SUB-BASES CON CEMENTO PÓRTLAND, TIPO RÍGIDO.

Las pruebas utilizadas son: la AASHTO estándar para conocer su peso específico, y la humedad óptima de compactación. Para este mismo método se elaboran especímenes para el ensaye de expansión y el de pérdida por cepillado en ciclos de humedecimiento y secado, además de esto se le aplica una prueba a la resistencia de compresión sin confinar (simple).

MEJORAMIENTO CON PRODUCTOS ASFÁLTICOS.

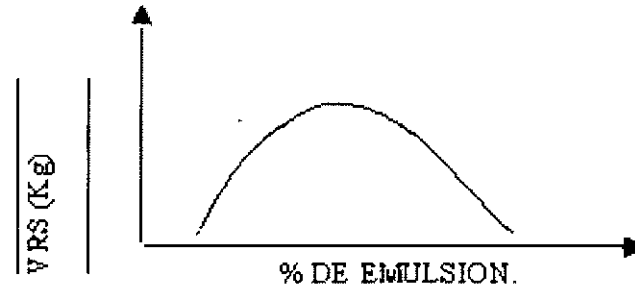
El material asfáltico que se emplea para mejorar un suelo puede ser el cemento asfáltico o bien las emulsiones asfálticas, el primero es el residuo último de la destilación del petróleo.

Para eliminarle los solventes volátiles y los aceites. Para ser mezclado con material pétreo deberá calentarse a temperaturas que varían de 140 a 160° C, el más común que se emplea en la actualidad es el AC-20. Este tipo de producto tiene la desventaja de que resulta un poco más costoso y que no puede mezclarse con pétreos húmedos. En las estabilizaciones, las emulsiones asfálticas son las más usadas ya que este tipo de productos si pueden emplearse con pétreos húmedos y no se necesitan altas temperaturas para hacerlo maniobrable, en este tipo de productos se encuentra en suspensión con el agua, además se emplea un emulsificante que puede ser el sodio o el cloro, para darle una cierta carga a las partículas y con ello evitar que se unan dentro de la emulsión; cuando se emplea sodio, se tiene lo que se conoce como *emulsión aniónica* con carga negativa y las que tienen cloro son las *emulsiones catiónicas* que presentan una carga positiva, siendo estas últimas las que presentan una mejor resistencia a la humedad que contienen los pétreos. Se tienen emulsiones de fraguado lento, medio y rápido, de acuerdo al porcentaje de cemento asfáltico que se emplea. *Una emulsión asfáltica* es una dispersión de asfalto en agua en forma de pequeñas partículas de diámetro de entre 3 y 9 micras.

Este tipo de aglutinantes puede usarse casi con cualquier tipo de material aunque por economía se recomienda se emplee en suelos gruesos o en materiales triturados que no presenten un alto índice de plasticidad, puede usarse también con las arcillas pero solo le procura impermeabilidad, resultando un método muy costoso, además con otros productos se logra mayor eficiencia y menor costo para los suelos plásticos. Es importante que el material pétreo que se va a mejorar, presente cierta rugosidad para que exista un anclaje adecuado con la película asfáltica, situación que se agrava si el material pétreo no es afín con el producto asfáltico. Algunos productos asfálticos contienen agua y si esto no se toma en cuenta se pueden presentar problemas muy serios al momento de compactar, la prueba que más comúnmente se emplea en el laboratorio para determinar el porcentaje adecuado de asfalto a utilizar se conoce como "prueba de valor soporte

florida modificada" y el procedimiento consiste en elaborar especímenes de pétreos que presentan cierta humedad usando diferentes porcentajes de asfalto, se compactan con carga estática de 11 340 Kg. (140 Kg/cm²), después de esto se pesan y se meten a curar al horno a una temperatura de 60° C, se sacan y se penetran hasta la falla o bien hasta que tengan una profundidad de 6.35mm registrándose la carga máxima en Kg., se efectúa una gráfica para obtener el porcentaje óptimo de emulsión y se recomienda que el material por mejorar presente un equivalente de arena mayor de 40%

y el porcentaje de emulsión varíe en un porcentaje de 1.



El procedimiento constructivo se desarrolla de la manera siguiente: la capa a mejorar ya tiene que estar completamente terminada. No hacer la estabilización con mucho viento, menos de 5° C o lluvia. También se puede estabilizar con ácido fosfórico y fosfatos; fosfato de calcio (yeso), resinas y polímeros.

COMPUESTOS DE UNA CARPETA ASFÁLTICA

Esta compuesta de:

- Material asfáltico. Puede ser cemento asfáltico (AC-2.5, AC-5, AC-10, AC-20, AC-30 y AC-40. los AC-5 normalmente son para emulsiones.
- Emulsión asfáltica. Aniónicas (-), catiónicas (+) y de rompimiento rápido, medio y lento.
- Agregados pétreos.

Anteriormente los cementos asfálticos se clasificaban por su dureza en:

CA-0 para climas fríos.

CA-6 para climas templados.

CA-10 para climas cálidos.

Regionalización de los productos asfálticos.

El asfalto es un material bituminoso, sólido o semisólido con propiedades aglutinantes y que se licua gradualmente al calentarse, se obtiene de la destilación del petróleo. En México este tipo de producto se emplea para la construcción de carpetas desde aproximadamente 1920; anteriormente se le clasificaba de acuerdo a su dureza, siendo el cemento asfáltico más usado el que tenía una dureza media (CA-6). Con la entrada de México al TLC se tuvieron que adecuar las normas Mexicanas a las de la ACTM y a las

especificaciones del SEP (Programa Estratégico de investigación de Carreteras.) de la ASTM (American Standard Test Materials.) de ese tiempo a la fecha, los materiales asfálticos se clasifican de acuerdo a la viscosidad que presentan. A continuación se anotarán las recomendaciones generales para cada uno de los productos asfálticos con la finalidad de darles un mejor uso.

ASFALTO	REGION RECOMENDADA
AC-5	Sirve para elaborar emulsiones y concretos asfálticos que se utilicen en la zona de la sierra madre occidental, en Durango o Chihuahua, y en algunas regiones altas de los estados de México, Morelos y Puebla.
AC-10	Se recomienda para la región central y el altiplano de la república mexicana.
AC-20	Para el sureste de la república y las regiones costeras del golfo y el pacífico pasando por Sinaloa e inclusive hasta Baja California.
AC-30	Norte y noreste del país, excluido el estado de Tamaulipas.

Esta distribución se basa en condiciones climáticas y no incluye otras variables importantes como el tipo de agregado pétreo, la intensidad del tránsito y otros factores como el NAF. Por lo que para realizar un concreto asfáltico de calidad deberán tomarse en cuenta las siguientes características: a) enviar pétreos sanos, limpios y bien graduados, b) utilizar procedimientos constructivos adecuados y c) aplicar las temperaturas recomendadas. En algunas ocasiones será necesario adicionar algún aditivo.

Aplicación de los productos asfálticos.

Cemento asfáltico o emulsión.	Trabajos recomendados en forma general.
AC-5, AC-10, AC-20, y AC-30 (solos o modificados)	Para realizar concretos asfálticos en las regiones señaladas y sobre todo en carreteras de alta circulación con alta intensidad de tránsito y con un elevado número de carga por eje.
Emulsiones asfálticas catiónicas de fraguado lento o superestable.	Para riego de impregnación de bases hidráulicas.
Emulsiones asfálticas catiónicas de fraguado medio	Para carpetas asfálticas mezcladas en frío, para carreteras con tránsito máximo de 2000 vehículos, también se emplea en trabajos de bacheo, nivelación y sobre-carpetas.
Emulsiones de fraguado rápido.	Se utiliza para riegos de liga, carpetas asfálticas de riego y riegos de sello convencionales.

TIPOS DE CARPETAS.

- realizadas en planta o en caliente con tránsito de hasta 2000 vehículos (AC-20, material pétreo y temperatura de 140 a 160° C.)
- Carpetas de riegos (emulsión y material pétreo.)
- Carpetas asfálticas en frío o en el lugar.
- Revestimientos. Se puede circular todo el año (espesor de 15cm) con material seleccionado (en desiertos arenas con emulsión asfáltica en una cantidad de 6lt/m³ de pétreo; después de compactado se debe efectuar un poreo para tapar oquedades.) (en la costa arena con 100lt/m³ y sin poreo), para un régimen pluvial alto se recomienda estabilizar con cemento la terracería y colocar fragmentos de roca chica.)

OBJETO O FINALIDAD DE MODIFICAR UN ASFALTO.

La finalidad de modificar a los asfaltos es la de mejorar sus propiedades para que presente un mejor comportamiento a los cambios climáticos y de temperatura. Además los hace más resistentes al envejecimiento, aumenta la capacidad de carga y de soporte, mejoran las condiciones de elasticidad, flexibilidad, cohesión y viscosidad, lo cual redundará en una mayor vida útil y en la disminución del espesor de la carpeta. El cemento asfáltico, para modificarlo se puede mezclar con materiales del tipo S-BS (estireno butadieno-estireno), SBR (estireno butadieno-hule), productos EVA (productos termoplásticos además de poliestirenos y podolefinas. Otro producto que también se emplea para darle mayor dureza es el hule molido de neumáticos y en algunas ocasiones la escoria de fundición.

PRINCIPALES PRUEBAS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS CEMENTOS ASFÁLTICOS.

- PESO ESPECÍFICO. Este ensaye se efectúa para ubicar las correlaciones necesarias de peso a volumen, varía con la temperatura, o al adicionarle algún otro material; regularmente el asfalto presenta una densidad mayor que el agua.
- SOLUBILIDAD TRICLOROETILENO. Este método sirve para detectar impurezas o materiales extraños que presente el asfalto, o bien algún elemento que no sea soluble al asfalto.
- PUNTO DE INFLAMACIÓN. Es una prueba de seguridad que se realiza para conocer a que temperatura provoca flama el material asfáltico.
- PUNTO DE REBLANDECIMIENTO. Por el método del anillo y la esfera, nos proporciona una medida a la resistencia del material al cambio de sus propiedades de acuerdo a su temperatura.
- PENETRACIÓN A 25° C. Con esta prueba se determina la dureza que presentan los diferentes tipos de asfalto; de acuerdo a la dureza nos indica de que tipo de cemento se trata.
- DUCTILIDAD A 25° C. Mide al alargamiento que presenta el asfalto sin romperse, la longitud del hilo de material se mide cuando se corta en cm, este ensaye además de indicarnos el tipo de asfalto nos da la edad del mismo; ya que si se

rompe a valores menores a los establecidos nos indica que es un asfalto viejo y que ha perdido sus características, por consecuencia puede provocar grietas en la carpeta "cemento asfáltico crackeado" (viejo.)

- **VISCOSIDAD SAYBOL FUROL.** Nos ayuda a conocer la temperatura en la cual el asfalto es de fácil manejo. En esta prueba se mide el tiempo que tardan en pasar 60 cm^3 de asfalto por un orificio de diámetro aproximadamente igual a 1 mm, este ensaye se efectúa a temperaturas que van de los 60 a los 135° C dependiendo del tipo de asfalto de que se trate.
- **VISCOSIDAD ABSOLUTA A 60° C.** Con esta prueba se clasifica el cemento. Consiste en hacer pasar hacia arriba el asfalto dentro de un tubo capilar bajo condiciones controladas de vacío y temperatura, el resultado se calcula de acuerdo al tiempo que tarda en pasar el asfalto de un punto a otro dentro del tubo, este tiempo se multiplica por una constante del equipo usado y la unidad que se maneja es el "poise" que es una fuerza de $1\text{gr}/\text{cm}^2$ y de acuerdo con la viscosidad que presente se clasifican los asfaltos.
- **VISCOSIDAD CINEMÁTICA A 135° C.** Con esta prueba se mide el tiempo en que un volumen de asfalto fluye a través de un viscosímetro capilar, de un orificio determinado. El tiempo se multiplica por un factor de calibración del viscosímetro, la unidad que emplea es el "centistokes". Esta unidad se basa en las relaciones de densidad de un líquido a la temperatura de prueba representada en $1\text{gr}/\text{cm}^3$.
- **PERDIDA POR CALENTAMIENTO.** También llamada prueba de la película delgada; esta prueba estima el endurecimiento que sufren los asfaltos después de calentarse a temperaturas extremas (163° C) además nos determina los cambios que sufre el material durante el transporte, almacenamiento, calentamiento, elaboración y tendido de mezcla. Se efectúa en películas de pequeño espesor que se someten a los efectos del calor y el aire, con ellos se evalúa el endurecimiento que presenta y la pérdida de sus propiedades; después de efectuado este ensaye se efectúan pruebas de viscosidad, ductilidad, penetración y pérdida de peso.

PRUEBAS QUE SE EFECTUAN EN LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS.

- **CARGA ELECTRICA DE LA PARTÍCULA.** Se efectúa para identificar la polaridad de los glóbulos de asfalto en una emulsión teniendo carga eléctrica negativa las aniónicas y positiva las catiónicas. Se aplica una carga de 8 mili-amperes y la emulsión se irá hacia el lado que presente carga contraria a la que ella tenga.
- **POTENCIAL DE HIDRÓGENO. (PH).** Consiste en conocer el grado de acidez o alcalinidad de la fase acuosa, además también nos indica el tipo de emulsión de que se trata sabiendo que las emulsiones *cationicas* son ácidas y las *aniónicas* son alcalinas.
- **DEMULSIBILIDAD.** La facilidad con que se rompen las emulsiones, esta prueba nos da una idea del tiempo adecuado para incorporar las emulsiones durante la elaboración de las mezclas asfálticas y consiste en pasar el material por la malla de 1.4 mm para efectuar otra destilación.
- **MISCIBILIDAD CON CEMENTO PÓRTLAND.** Este ensaye permite conocer la estabilidad de los productos al mezclarlo con material fino, el ensaye consiste en

agregar cemento Pórtland a la emulsión y después cribar la mezcla por la malla de 1.8 y 1.4, determinándose el retenido en cada una de las mallas no debiendo formar grumos los materiales.

- **CUBRIMIENTO DEL AGREGADO PÉTREO EN HÚMEDO.** Con este ensaye se estima que tanta afinidad existe entre la emulsión y el pétreo, nos permite observar como se porta esta unión ante la acción del agua, se recomienda emplear el material de la calizas mezclándose la emulsión y el suelo en diferentes porcentajes para después lavarlas y observar que porcentaje de asfalto cubre el pétreo, siendo un valor mínimo el 75%.
- **RESIDUO DE DESTILACIÓN.** Con esta prueba se obtiene el contenido de agua y disolventes que presenta la emulsión cuando se calienta a 260° C. Al residuo se le efectúan pruebas de penetración, ductilidad y solubilidad para saber como le afecta la temperatura al cemento asfáltico.
- **VISCOSIDAD SAYBOL-FUROL.** A 25 y 50° C.
- **RETENIDO EN LA MALLA NÚMERO 20.** este ensaye nos indica si la emulsión presenta glóbulos de un tamaño muy grande, el procedimiento consiste en hacer pasar el asfalto o emulsión por la malla 20 y se observa que porcentaje se retiene en la misma.
- **ASENTAMIENTO EN 5 DÍAS.** Nos ayuda a conocer la homogeneidad que presentan los productos al ser almacenados y el ensaye consiste en dejar reposar durante 5 días el producto, y determinar las diferentes concentraciones que presente el asfalto.

DESCRIPCION CARPETA ASFÁLTICA.

La carpeta asfáltica es la parte superior del pavimento flexible que proporciona la superficie de rodamiento, es elaborada con material pétreo seleccionado y un producto asfáltico dependiendo del tipo de camino que se va a construir, las principales características que debe cumplir el pétreo son las siguientes: a) un diámetro menor de una pulgada y tener una granulometría adecuada, b) deberá tener cierta dureza para lo cual se le efectuarán los ensayes de *desgaste los Ángeles, intemperismo acelerado, densidad y durabilidad*. C) la forma de la partícula deberá ser lo más cúbica posible, recomendamos no usar material en forma de laja o aguja pues se rompen con facilidad alterando la granulometría y pudiendo provocar fallas en la carpeta, se efectuarán pruebas de equivalente de arena ya que los materiales finos en determinados porcentajes no resultan adecuados.

En las mezclas asfálticas, es de gran importancia conocer la cantidad de asfalto por emplearse, debiéndose buscar un contenido óptimo; ya que en una mezcla este elemento forma una membrana alrededor de las partículas de un espesor tal que sea suficiente para resistir los efectos del tránsito y de la intemperie, pero no debe resultar muy gruesa ya que además de resultar antieconómica puede provocar una pérdida de la estabilidad en la carpeta, además este exceso de asfalto puede hacer resbalosa la superficie, para calcular este óptimo se tienen las pruebas de compresión simple para mezclas en frío, la prueba Marshall para muestras en caliente y la prueba de Hveem. Para conocer la adherencia entre el pétreo y el asfalto se pueden utilizar pruebas de desprendimiento por fricción, pérdida de estabilidad o bien, cubrimiento por el método inglés; en caso de que

las características del pétreo no sean aceptables, se pueden lavar o bien usar un estabilizante para cambiar la tensión superficial de los poros.

El tipo y espesor de una carpeta asfáltica se elige de acuerdo con el tránsito que va a transitar por ese camino, tomando en cuenta el siguiente criterio.

Intensidad del tránsito pesado en un solo sentido	Tipo de carpeta
Mayor de 2000 veh./día	Mezcla en planta de 7.5cm de espesor mínimo
1000 a 2000	Mezcla en planta con un espesor mínimo de 5cm
500 a 1000	Mezcla en el lugar o planta de 5cm como mínimo
Menos de 500	Tratamiento superficial simple o múltiple.

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN PLANTA O EN CALIENTE.

En la planta de concreto asfáltico se deberá tener el material pétreo del diámetro adecuado (menor de una pulgada) que de preferencia deberá estar triturado y cumplir con las especificaciones que marca la SCT. Este material se eleva a un cilindro de calentamiento y secado hasta llegar a una temperatura de 160 a 175° C, de ahí se pasa a la unidad de mezclado donde se criba para alimentar 3 o 4 tolvas con material de diferente tamaño, se pesa la cantidad de material necesaria de pétreo y se depositan en las cajas mezcladoras donde se le provee de cemento asfáltico AC-20 el cual deberá estar a una temperatura de 130 a 150° C, se recomienda no exceder estos valores para evitar que se pierdan propiedades, se realiza la mezcla hasta su homogenización y ésta se vacía a los vehículos a una temperatura de entre 120 y 130° C, de preferencia esta mezcla se cubre con una lona para evitar se enfríe en el trayecto.

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA CARPETA.

En el lugar donde se va a colocar la carpeta, unas dos horas antes de que llegue el concreto asfáltico, se efectúa un riego de emulsión asfáltica de rompimiento rápido que se conoce como *riego de liga*, esta capa de asfalto nos ayudará a que exista una adherencia adecuada entre el suelo de la base y la carpeta, este riego se efectúa en una proporción de 0.7lt/m², se barren los charcos de asfalto excesivo y se elimina el total de la basura y materiales extraños, para evitar que este riego sea desprendido por las ruedas de los vehículos, se recomienda efectuar un riego de arena.

La mezcla asfáltica deberá llegar a una temperatura de 115 a 125° C, esto se verifica con un termómetro de varilla. La mezcla se vacía en la máquina finisher o extendora que formará una capa de mezcla asfáltica, se recomienda tener una cuadrilla de rastrillos que aseguren una textura conveniente en la superficie y que borren las juntas longitudinalmente entre franjas. A una temperatura de entre 110 y 120° C se le aplica una compactación con un rodillo ligero de entre 8 y 10 toneladas de peso; los rodillos se

moverán paralelamente al eje del camino y de la orilla hacia el centro, y del lado interior hacia el exterior en las curvas. En los aeropuertos además de lo anterior se pasa el equipo en la dirección perpendicular y oblicua con respecto al eje del camino. Después de hacer esto con el rodillo ligero, se compacta con un rodillo más pesado hasta alcanzar el grado de compactación que marca el proyecto (min. 95%.) la compactación deberá terminar cuando se llegue a esta posición y para comprobarlo se efectuarán calas, para esto se corta en frío usando un chafán y procurando no dañar la base, para de esa manera realizar los ajustes necesarios. Durante el tendido y compactación de la mezcla pueden aparecer grietas y desplazamientos motivados por diferentes causas, tales como la aplicación de un riego de liga defectuoso, ya sea en exceso o escaso, falta de viscosidad del asfalto producida por el calentamiento excesivo, o bien, porque el material pétreo no perdió completamente la humedad.

Para conocer la permeabilidad de la carpeta, se realizará en ella una prueba de campo, la cual consiste en colocar un aro de lámina galvanizada de 250mm de diámetro y una altura de 50mm, se sella el aro y se coloca al centro un cono de bronce de 25mm de altura, se agrega agua hasta el ras del cono observando que no baje este nivel en un tiempo de 10 min. el índice de permeabilidad del material se calcula con la siguiente ecuación:

$$IP = Vt / Vf (1247\text{cm}^3)$$

donde:

Vt = volumen delimitado en el interior del aro y cuyo valor es de 1247cm^3

Vf = volumen final.

La carpeta deberá presentar un índice de permeabilidad menor del 10%. Por último en la carpeta se agrega un riego de sello, el cual consiste en una emulsión, la cual se cubre con un material pétreo del tipo 3E, esto se compacta para que penetre en la carpeta y con ello evitar que se introduzca el agua en ella, además protege del desgaste y proporciona una superficie antiderrapante. En algunos casos se puede emplear un mortero asfáltico que consiste en la mezcla de una emulsión y un material pétreo (arena) que se emplea comúnmente cuando se va a utilizar un camino que ya ha tenido cierto uso, a este tratamiento se le conoce como "*slurri seal*". En la actualidad, en algunos casos cuando el lugar donde se coloca la carpeta es de precipitación pluvial muy alta, se recomienda colocar sobre de esta una mezcla de textura abierta la cual se conoce como "*open graded*", este tratamiento ayudará a que no se formen charcos en la superficie los cuales pueden provocar accidentes por el fenómeno conocido como *acuaplaneo*.

EMPLEO DE MORTERO ASFÁLTICO

Es una capa delgada formada por arena, emulsión asfáltica y finos de relleno mineral. Se puede emplear para rellenar grietas en pavimentos para sellar superficies porosas e impermeabilizar.

b) REQUISITOS DE CALIDAD

Elaboración, tipos de mezclas, asfaltos modificados, pruebas de calidad, procesos de colocación, compactación, selladores, rendimientos.

ASFALTO

INTRODUCCIÓN

El uso moderno del asfalto para carreteras y construcción de calles comenzó a finales del siglo antepasado, y creció rápidamente con el surgimiento de la industria automotriz. Desde entonces, la tecnología del asfalto ha dado grandes pasos. Hoy día, los equipos y los procedimientos usados para construir estructuras de pavimentos asfálticos son bastante sofisticados.

Una regla que no ha cambiado a través de la larga historia del asfalto en la construcción, es la siguiente: Un pavimento es tan bueno como los materiales y calidad del proceso constructivo. Ningún equipo sofisticado puede compensar el uso de materiales y técnicas constructivas deficientes.

Este manual trata sobre los materiales usados en pavimentos, de buena calidad, de mezclas asfálticas en caliente. Se describe cuales son los materiales, como se comportan, y como saber si un material dado sirve, o no, para la obra de pavimentación. El inspector debe poseer esta información básica para poder tomar decisiones sabias.

ANTECEDENTES

DESCRIPCIÓN GENERAL

Los pavimentos asfálticos están compuestos de dos materiales: asfalto y agregado (piedra). Hay muchos tipos de asfalto y muchos tipos de agregado. En consecuencia, es posible construir diferentes tipos de pavimentos asfálticos. Los tipos más comunes de pavimentos asfálticos son (ver definiciones en Apéndice B).

- Concreto asfáltico (mezcla asfáltica en caliente con granulometría densa)
- Capa asfáltica de fricción con granulometría abierta
- Mezcla asfáltica de arena
- Mezcla asfáltica de poco espesor
- Mezclas con asfaltos emulsificados (mezclas en fijo)

El pavimento de concreto asfáltico es el pavimento asfáltico de mejor calidad. Está compuesto de agregado bien gradado y cemento asfáltico, los cuales son calentados y mezclados en proporciones exactas en una planta de mezclado en caliente. Después de que las partículas de agregado son revestidas uniformemente, la mezcla en caliente se lleva al lugar de la construcción, en donde el equipo asfaltador la coloca sobre la base que ha sido previamente preparada. Antes de que la mezcla se enfríe, las compactadoras proceden a compactarla para lograr la densidad especificada.

Existen otros tipos de pavimentos que se producen y colocan en forma similar. Los pavimentos con mezclas en frío utilizan asfaltos emulsificados o asfaltos diluidos (asfaltos cortados); requieren muy poco, o ningún, calentamiento de materiales y con frecuencia pueden ser producidos en el lugar de construcción sin necesidad de una planta central. En este manual únicamente se discute el concreto asfáltico (mezcla asfáltica en caliente con gradación densa).

RESPONSABILIDADES DEL INSPECTOR

El inspector no es responsable por seleccionar los materiales que van a ser usados en el pavimento. Ese es el trabajo del contratista y el diseñador del pavimento. Sin embargo, el inspector es responsable, a la larga, por la forma en que se manejen, almacenen, muestreen, mezclen, trasladen, coloquen, y compacten los materiales. Puede que tenga que verificar cosas como el origen, clasificación, tipos, temperaturas, y contenidos de humedad de los materiales. Además, el inspector deberá estar preparado para revisar e interpretar datos del diseño de la mezcla, resultados de ensayos de laboratorio, y especificaciones. También, cuando sea necesario, deberá ejecutar muestreos y pruebas in-situ.

El inspector no podrá desempeñar su trabajo si no conoce como trabajan los materiales que conforman el pavimento asfáltico; en particular las características de los materiales y su papel en el rendimiento del pavimento. También debe comprender que el manejo inadecuado de los materiales puede llegar a afectar desfavorablemente las propiedades, y a largo plazo, el comportamiento del pavimento terminado. Esta información le dará al inspector la confianza necesaria para tomar diariamente las decisiones apropiadas, y a la vez, eliminará su papel de adivinador en el trabajo, garantizando así un buen control de calidad.

La inspección y el control de materiales requiere de una documentación buena y completa. Los hechos, figuras, fechas, nombres, lugares, y condiciones son elementos importantes en el registro diario de información. La experiencia ha enseñado a los inspectores veteranos, a través de los años, que un trozo de información que puede no parecer importante en el momento de registrarse, quizás puede llegar, más tarde, a ser muy valioso en el momento de analizar un problema grave.

Cada agencia tiene formularios específicos para la documentación. Adicionalmente, el inspector debe llevar registros de sus observaciones en un libro de obra. El inspector hace la función de ojos y oídos de la agencia o el dueño del proyecto.

ASFALTO

El asfalto es un material negro, cementante, que varía ampliamente en consistencia, entre sólido y semisólido (sólido blando), a temperaturas ambientales normales. Cuando se calienta lo suficiente, el asfalto se ablanda y se vuelve líquido, lo cual le permite cubrir las partículas de agregado durante la producción de mezcla en caliente.

Casi todo el asfalto usado en los Estados Unidos es producido por refinerías modernas de petróleo y es llamado asfalto de petróleo. El grado de control permitido por los equipos modernos de refinería permite la producción de asfaltos con características distintas, que se prestan para usos específicos. Como resultado, se producen asfaltos para pavimentación, techado y otros usos especiales.

El asfalto usado en pavimentación, generalmente llamado cemento asfáltico, es un material viscoso (espeso) y pegajoso. Se adhiere fácilmente a las partículas de agregado y, por lo tanto, es un excelente cemento para unir partículas de agregado en un pavimento de mezcla en caliente. El cemento asfáltico es un excelente material impermeabilizante y no es afectado por los ácidos, los álcalis (bases) o las sales. Esto significa que un pavimento de concreto asfáltico construido adecuadamente es impermeable y resistente a muchos tipos de daño químico.

El asfalto cambia cuando es calentado y/o envejecido. Tiende a volverse duro y frágil y también a perder parte de su capacidad de adherirse a las partículas de agregado. Estos

cambios pueden ser minimizados si se comprenden las propiedades del asfalto, y si se toman medidas, durante la construcción, para garantizar que el pavimento terminado sea construido de tal manera que pueda retardarse el proceso de envejecimiento.

ORIGEN Y NATURALEZA DEL ASFALTO

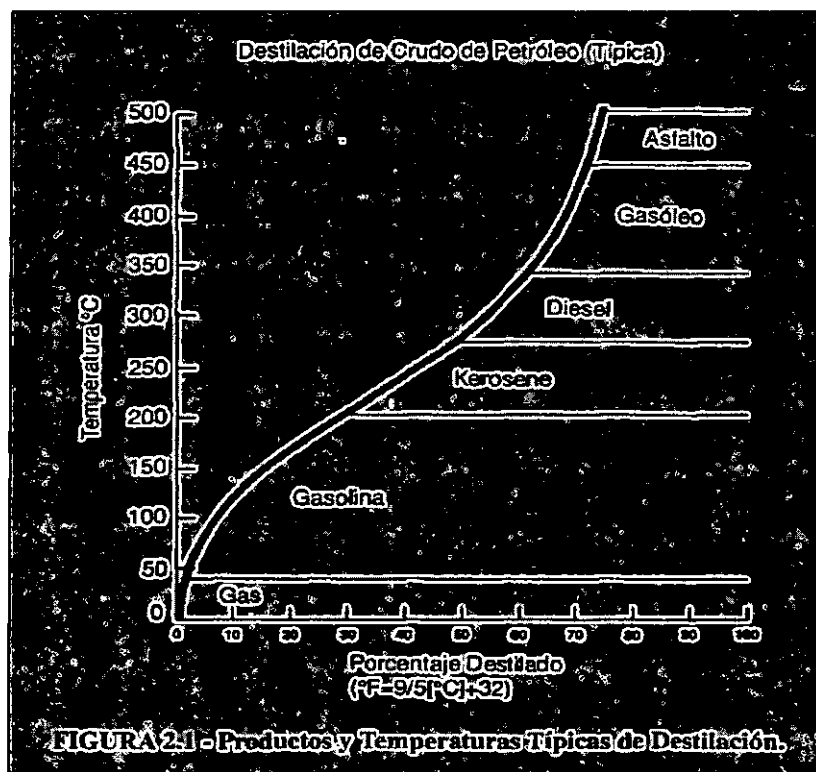
A veces hay confusión acerca del origen del asfalto, de cómo es refinado, y cómo se clasifica en sus diferentes grados. Esto se debe a que el asfalto es usado para muchos propósitos. Existe una confusión similar respecto a ciertos términos relacionados con las propiedades del asfalto. El propósito de esta sección es el de discutir, en suficiente detalle, el origen y naturaleza del asfalto de pavimentación, para poder transmitir un entendimiento claro de los conceptos fundamentales. En el Apéndice B de este manual puede encontrarse un glosario de términos comunes relacionados con el asfalto.

REFINACIÓN DE PETRÓLEO

El crudo de petróleo es refinado por destilación. Este es un proceso en el cual las diferentes fracciones (productos) son separadas fuera del crudo por medio de un aumento, en etapas, de la temperatura. Como puede verse en la Figura 2.1, las diferentes fracciones se separan a diferentes temperaturas.

Las fracciones livianas se separan por destilación simple. Los destilados más pesados, usualmente llamados gasóleos, pueden ser separados solamente mediante una combinación de calor y vacío. Como se indica en la Figura 2.1, el asfalto puede ser producido usando destilación por vacío a una temperatura aproximada de 480°C (900°F). Esta temperatura puede variar un poco, dependiendo del crudo de petróleo que se este refinando, o del grado de asfalto que se este produciendo.

La Figura 2.2 es una ilustración esquemática de una refinería típica. La figura muestra el flujo de petróleo durante el proceso de refinación.



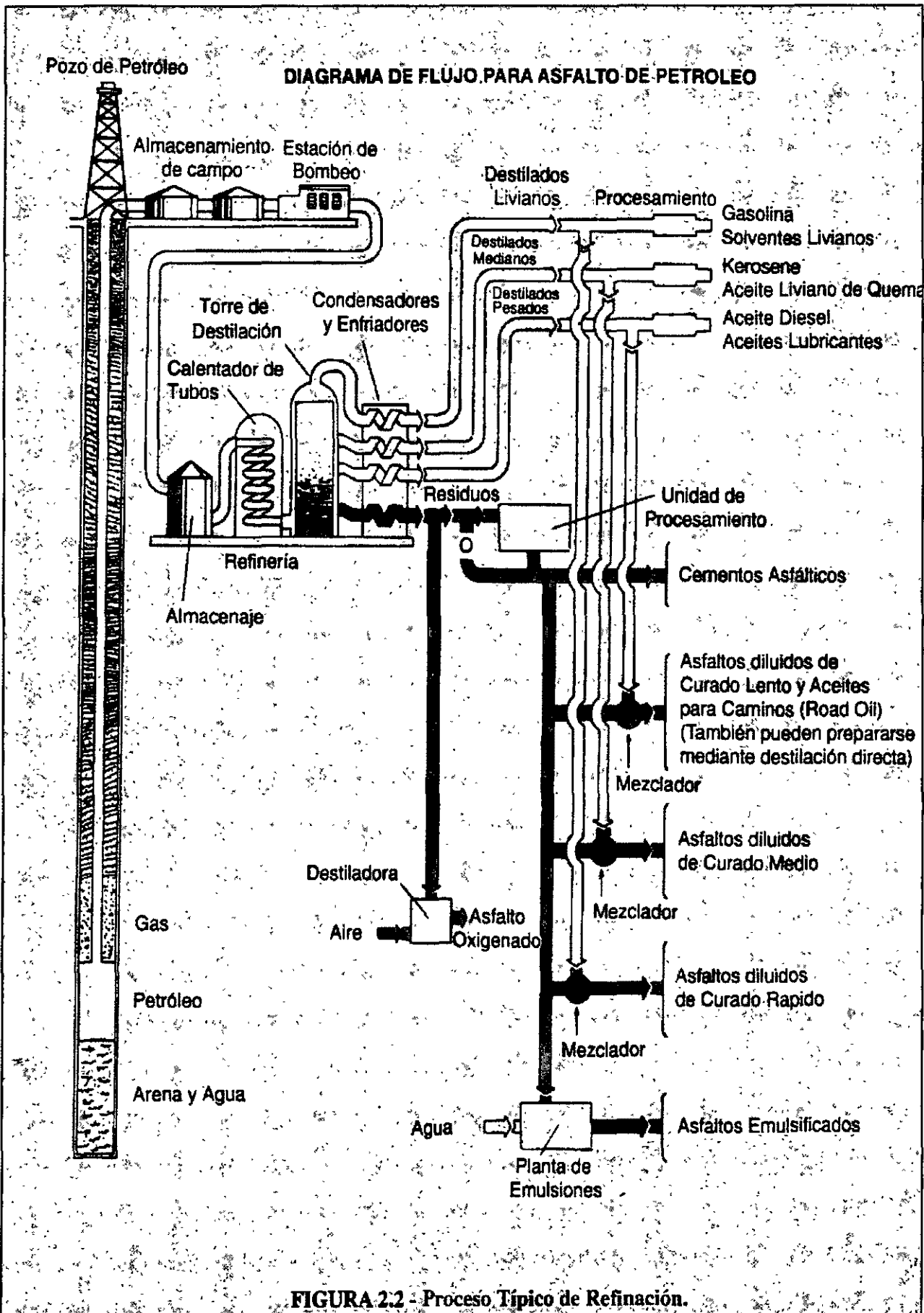


FIGURA 2.2 - Proceso Típico de Refinación.

REFINACIÓN DE ASFALTO

Diferentes usos requieren diferentes tipos de asfalto. Los refinadores de crudo deben tener maneras de controlar las propiedades de los asfaltos que producen, para que estos cumplan ciertos requisitos. Esto se logra, usualmente, mezclando varios tipos de crudos de petróleo antes de procesarlos. El hecho de mezclar permite al refinador combinar crudos que contienen asfaltos de características variables, para que el producto final posea exactamente las características solicitadas por el usuario.

Existen dos procesos por los cuales puede ser producido un asfalto, después de que se han combinado los crudos de petróleo: destilación por vacío y extracción con solventes. Como se discutió anteriormente, la destilación por vacío consiste en separar el asfalto del crudo mediante la aplicación de calor y vacío. En el proceso de extracción con solvente, se remueven mas gasóleos del crudo, dejando así un asfalto residual.

Una vez que los asfaltos han sido procesados, estos pueden ser mezclados entre si, en ciertas proporciones, para producir grados intermedios de asfalto. Es así como un asfalto muy viscoso y uno menos viscoso pueden ser combinados para producir un asfalto de viscosidad intermedia.

En resumen, para producir asfaltos con características específicas, se usa el crudo de petróleo o mezclas de crudos de petróleo. El asfalto es separado de las otras fracciones del crudo por medio de destilación por vacío o extracción con solventes.

CLASIFICACIÓN, PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL ASFALTO

Clasificación y Grados del Asfalto: Los asfaltos de pavimentación pueden clasificarse bajo tres tipos generales:

- Cemento asfáltico;
- Asfalto diluido (o cortado); y
- Asfalto emulsificado

Cada tipo esta definido en el Apéndice B. Los asfaltos diluidos y los emulsificados son usados, casi por completo, en mezclas en frío y en riegos, y no se discutirán más en esta sección.

Los cementos asfálticos se clasifican bajo tres sistemas diferentes. Ellos son: viscosidad, viscosidad después de envejecimiento, y penetración. Cada sistema abarca diferentes grados, cada uno con diferentes rangos de consistencia.

El sistema más usado en los Es Unidos esta basado en la viscosidad del asfalto. La Figuras 2.3 muestra el sistema en forma de tablas. Algunas de las agencias, hoy día, han modificado los parámetros del sistema para poder cumplir con necesidades específicas. El inspector debe usar, como referencia, las especificaciones asfálticas de su propia agencia.

En el sistema de viscosidad, el poise (ver definición en Apéndice B) es la unidad normal de medida para viscosidad absoluta. Refiriéndose a la Figura 2.3. Observe que cuanto más alto es el número de poises. Más viscoso es el asfalto. El AC-2.5 (cemento asfáltico con una viscosidad de 250 poises a 60°C o 140°F) es conocido como un asfalto "blando". El AC-40 (cemento asfáltico con una viscosidad de 4000 poises a 60°C o 140°F) es conocido como un asfalto "duro".

REQUISITOS PARA CEMENTO ASFÁLTICO CLASIFICADO POR VISCOSIDAD A 60° C (Clasificación basada en asfalto original)

PRUEBA	GRADO DE VISCOSIDAD					
	AC-2.5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30	AC-40
Viscosidad, 60° C, poises	250±50	500±100	1000±200	2000±400	3000±600	4000±800
Viscosidad, 135° C, Cs-minimo	125	175	250	300	350	400
Penetración, 25° C, 100 g., 5 segundos-minimo	220	140	60	60	50	40
Punto Inflamador, Cleveland, °C(°F)-minimo	163(325)	177(350)	219(425)	232(450)	232(450)	232(450)
Solubilidad en triclorometano, por ciento-minimo	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0
Pruebas sobre el residuo del ensayo IFO:						
Pérdida por calentamiento, porcentaje-maximo (opcional) ¹		1.0	0.5	0.5	0.5	0.5
Viscosidad, 60° C, poises-maximo	1000	2000	4000	8000	12000	16000
Ductilidad, 25° C, 5 cm por minuto, cm-minimo	100 ²	100	75	60	40	25
Prueba de mancha (cuando y como se especifique)³ con:						
Solvente normal de nafta	Negativo para todos los grados					
Solvente de nafta-xileno, % xileno	Negativo para todos los grados					
Solvente de heptano-xileno, % xileno	Negativo para todos los grados					

¹ Si la ductilidad es menor que 100, el material será aceptado si la ductilidad a 15.6° C tiene un valor/minimo de 100.

² El uso de la prueba de mancha es opcional. El ingeniero deberá especificar el tipo de solvente usado cuando se va a usar la prueba. En el caso de los solventes de xileno, deberá especificar el porcentaje de xileno a ser usado.

³ El uso del requisito de pérdida por calentamiento es opcional.

FIGURA 2.3 - Requisitos para Cemento Asfáltico Graduado por Viscosidad (AASHTO M 226).

Varios estados del Oeste, en Estados Unidos, clasifican el asfalto de acuerdo a su viscosidad después de envejecido. La idea es identificar cuales serán las características de viscosidad después de que se ha colocado el asfalto en el pavimento. Para poder simular el envejecimiento que ocurre en la planta asfáltica durante el mezclado, el asfalto debe ser ensayado en el laboratorio utilizando un ensayo patrón de envejecimiento. El residuo asfáltico que queda después del envejecimiento es clasificado, posteriormente, de acuerdo a su viscosidad. Una vez más, la unidad normal de medida es el poise. La Figura 2.4 identifica los posibles grados bajo este sistema.

En la Figura 2.4, la abreviación "AR" corresponde a "Residuo Envejecido." Obsérvese que el AR- 10 (viscosidad de 1000 poises) se conoce como un asfalto "blando", mientras que el AR 160 (viscosidad de 16000 poises) se conoce como un asfalto "duro".

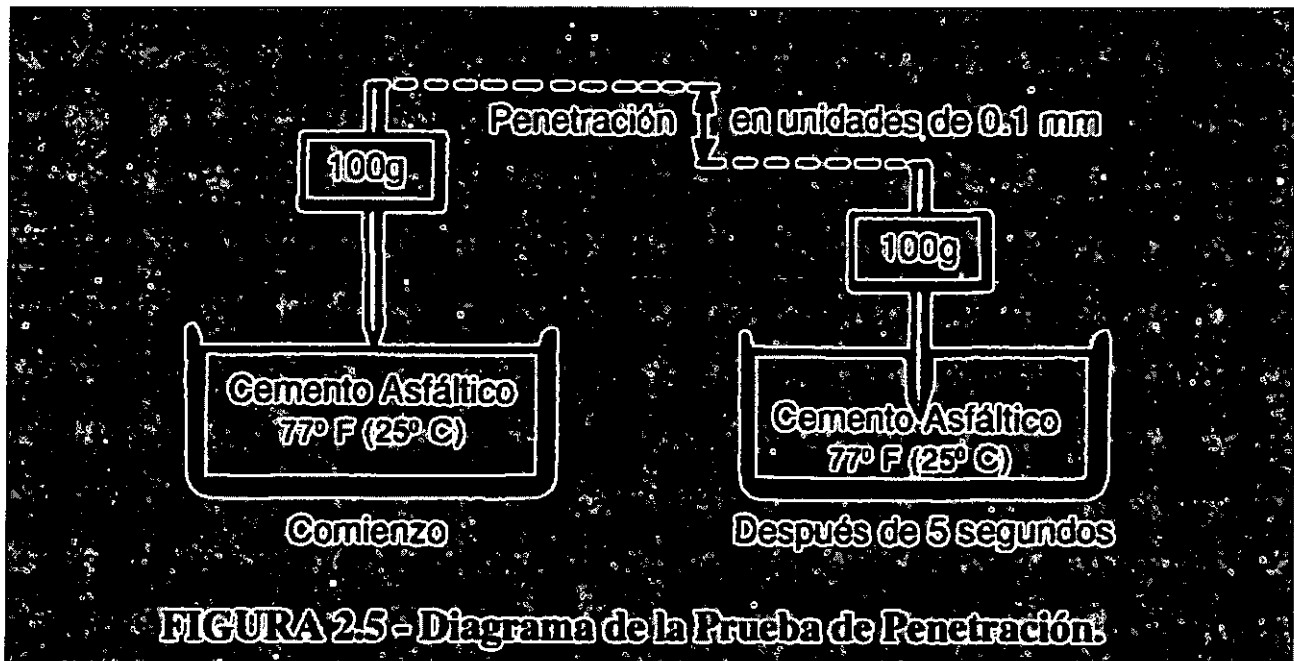
El tercer método usado para clasificar asfaltos es el de penetración. La Figura 2.5 muestra como se efectúa el ensayo de penetración. Una aguja normal se deja penetrar dentro de la muestra de asfalto bajo una carga dada. La distancia que la aguja penetra en la muestra en un tiempo determinado es medida en décimas de milímetro (0.1 mm). Un grado 200-300 indica que la aguja penetró en la muestra, bajo condiciones específicas, de

200 a 300 décimas de milímetro. Esto es indicación de un asfalto "blando". Un grado 40-50, por otro lado, es indicación de un asfalto "duro" en el cual la aguja fue capaz de penetrar solamente de 40 a 50 décimas de milímetro. La Figura 2.6 muestra los distintos grados incluidos bajo este sistema.

PRUEBAS SOBRE EL RESIDUO DEL ENSAYO DE LA NORMA AASHTO T240 ¹	GRADO DE VISCOSIDAD				
	AR-10	AR-20	AR-40	AR-80	AR-160
Viscosidad, 60° C, poises	1000 ± 250	2000 ± 500	4000 ± 1000	6000 ± 2000	16000 ± 4000
Viscosidad, 135° C, Co-mínimo	140	200	275	400	550
Penetración, 25° C, 100 g., 5 segundos-mínimo	65	40	25	20	20
Porcentaje de Pen original, 25° C-mínimo	—	40	45	50	52
Ductilidad, 25° C, 5 cm por minuto, cm-mínimo	100 ²	100 ²	75	50	52
PRUEBAS SOBRE EL ASFALTO ORIGINAL					
Punto Inflamador, Cleveland, ° C (° F)-mínimo	205 (400)	219 (425)	227 (440)	232 (450)	238 (460)
Solubilidad en tricloroetileno, por ciento-mínimo	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0

¹AASHTO T179 (TFO) puede ser usado, pero AASHTO T240 deberá ser el método de referencia.
²Si la ductilidad es menor que 100, el material será aceptado si la ductilidad a 15.5° C tiene un valor/mínimo de 100.

FIGURA 2.4.- Requisitos para Cemento Asfáltico Graduado por la Viscosidad del Residuo de la Prueba de Película Delgada en Horno Rotatorio (AASHTO M226).



REQUISITOS PARA UNA ESPECIFICACION PARA CEMENTO ASFALTICO AASHTO M 20										
	Grado de Penetración									
	40-50		60-70		85-100		120-150		200-300	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Penetración a 25° C, 100 g., 5 segundos.....	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto Inflamador, Ensayo Cleveland, °C.....	450	-----	450	-----	450	-----	425	-----	350	-----
Ductilidad a 25° C, 5 cm. por min, cm.	100	-----	100	-----	100	-----	100	-----	-----	-----
Solubilidad en tricloroetileno, por ciento.....	99	-----	99	-----	99	-----	99	-----	99	-----
TFO, 3.2 mm, 163° C, 5 horas.....	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Pérdida por calentamiento, por ciento.....	-----	0.8	-----	0.8	-----	1.0	-----	1.3	-----	1.5
Penetración del residuo, porcentaje del original	58	-----	54	-----	50	-----	48	-----	40	-----
Ductilidad del residuo a 25° C, 5 cm, por min, cm.....	-----	-----	50	-----	75	-----	100	-----	100	-----
Prueba del Mancha (cuando y como se especifica) (ver nota) con: Solvente normal de nafta Solvente de nafta-xileno, % xileno Solvente de heptano-xileno, % xileno	Negativo para todos los grados Negativo para todos los grados Negativo para todos los grados									

NOTA: El uso de la prueba de mancha es opcional. El ingeniero deberá especificar el tipo de solvente cuando se va a usar la prueba, y en el caso de los solventes de xileno, deberá especificar el porcentaje de xileno a ser usado.

FIGURA 2.6 - Sistema de Clasificación por Penetración (AASHTO M 20).

Las tablas muestran, en los tres sistemas, propiedades que van más allá de viscosidad y penetración - propiedades como ductilidad, punto de inflamación, etcétera. Estas propiedades, y los ensayos correspondientes, serán discutidos mas adelante en esta sección.

PROPIEDADES QUÍMICAS DEL ASFALTO

El asfalto tiene propiedades químicas únicas que lo hacen muy versátil como material de construcción de carreteras. Los técnicos de asfalto y los diseñadores de pavimentos han aprendido a identificar y caracterizan estas propiedades y a usarlas, dentro de la estructura del pavimento, en la forma mas ventajosa posible. Una breve introducción de las propiedades más importantes ayudará al inspector a entender la naturaleza de los pavimentos de mezclas en caliente.

Debe observarse que ninguna de las tablas que describen los tres sistemas de clasificación de asfaltos menciona la composición química. Esto puede parecer sorprendente, debido a que la composición química es ciertamente uno de los medios usados, más precisos, para identificar las propiedades de cualquier sustancia. Sin embargo, existen varias razones por las cuales la química no ha llegado a ser parte de los sistemas de clasificación:

- En la actualidad no hay una prueba normal para composición química de asfaltos que sea aceptada mutuamente por los vendedores, los compradores y los usuarios del material.

- Los ensayos existentes para analizar composición química requieren de equipos sofisticados y pericia técnica que no esta disponible en la mayoría de los laboratorios donde se hacen pruebas de asfaltos.
- La relación entre la composición química del cemento asfáltico y su comportamiento en la estructura del pavimento es todavía incierta. Respecto a esto todavía hay muchas preguntas sin contestar.

De todas maneras, una breve descripción de la química del asfalto ayudará a que el inspector entienda la naturaleza del material.

Básicamente, el asfalto esta compuesto por varios hidrocarburos (combinaciones moleculares de hidrogeno y carbono) y algunas trazas de azufre, oxigeno, nitrógeno y otros elementos. El asfalto, cuando es disuelto en un solvente como el heptano, puede separarse en dos partes principales: asfaltenos y maltenos.

Los asfaltenos no se disuelven en el heptano. Los asfaltenos, una vez separados de los maltenos, son usualmente de color negro o pardo oscuro y se parecen al polvo grueso de grafito. Los asfaltenos le dan al asfalto su color y dureza.

Los maltenos se disuelven en el heptano. Son líquidos viscosos compuestos de resinas y aceites. Las resinas son, por lo general, líquidos pesados de color ámbar o pardo oscuro, mientras que los aceites son de color mas claro. Las resinas proporcionan las cualidades adhesivas (pegajosidad) en el asfalto, mientras que los aceites actúan como un medio de transporte para los asfaltenos y las resinas. La proporción de asfaltenos y maltenos en el asfalto puede variar debido a un sinnúmero de factores, incluyendo altas temperaturas, exposición a la luz y al oxigeno, tipo de agregado usado en la mezcla del pavimento, y espesor de la película de asfalto en las partículas de agregado. Las reacciones y cambios que pueden ocurir incluyen: evaporación de los compuestos mas volátiles, oxidación (combinación de moléculas de hidrocarburo con moléculas de oxigeno), polimerización (combinación de dos o mas moléculas para formar una sola molécula mas pesada), y otros cambios químicos que pueden afectar considerablemente las propiedades del asfalto. Las resinas se convierten gradualmente en asfaltenos, durante estas reacciones, y los aceites se convierten en resinas, ocasionando así un aumento en la viscosidad del asfalto. Este aumento de viscosidad con el envejecimiento es ilustrado en la Figura 2.9 en donde se indica el cambio en viscosidad después de una prueba normal de envejecimiento.

PROPIEDADES FÍSICAS DEL ASFALTO

Las propiedades físicas del asfalto, de mayor importancia para el diseño, construcción, y mantenimiento de carreteras son: durabilidad, adhesión, susceptibilidad a la temperatura, envejecimiento y endurecimiento.

■ Durabilidad

Durabilidad es la medida de que tanto puede retener un asfalto sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento. Es una propiedad juzgada principalmente a través del comportamiento del pavimento, y por consiguiente es difícil de definir solamente en términos de las propiedades del asfalto. Esto se debe a que el comportamiento del pavimento esta afectado por el diseño de la mezcla, las características del agregado, la mano de obra en la construcción, y otras variables, que incluyen la misma durabilidad del asfalto.

Sin embargo, existen pruebas rutinarias usadas para evaluar la durabilidad del asfalto. Estas son la Prueba de Película Delgada en Horno (TFO) y la Prueba de Película Delgada en Horno Rotatorio (RTFO). Ambas incluyen el calentamiento de películas delgadas de asfalto, y serán discutidas mas adelante en esta sección.

■ Adhesión y Cohesión

Adhesión es la capacidad del asfalto para adherirse al agregado en la mezcla de pavimentación. Cohesión es la capacidad del asfalto de mantener firmemente, en su puesto, las partículas de agregado en el pavimento terminado.

El ensayo de ductilidad no mide directamente la adhesión o la cohesión; más bien, examina una propiedad del asfalto considerada por alguna como relacionada con la adhesión y la cohesión. En consecuencia, el ensayo es del tipo "califica-no califica", y solo puede indicar si la muestra es, o no, lo suficiente dúctil para cumplir con los requisitos mínimos.

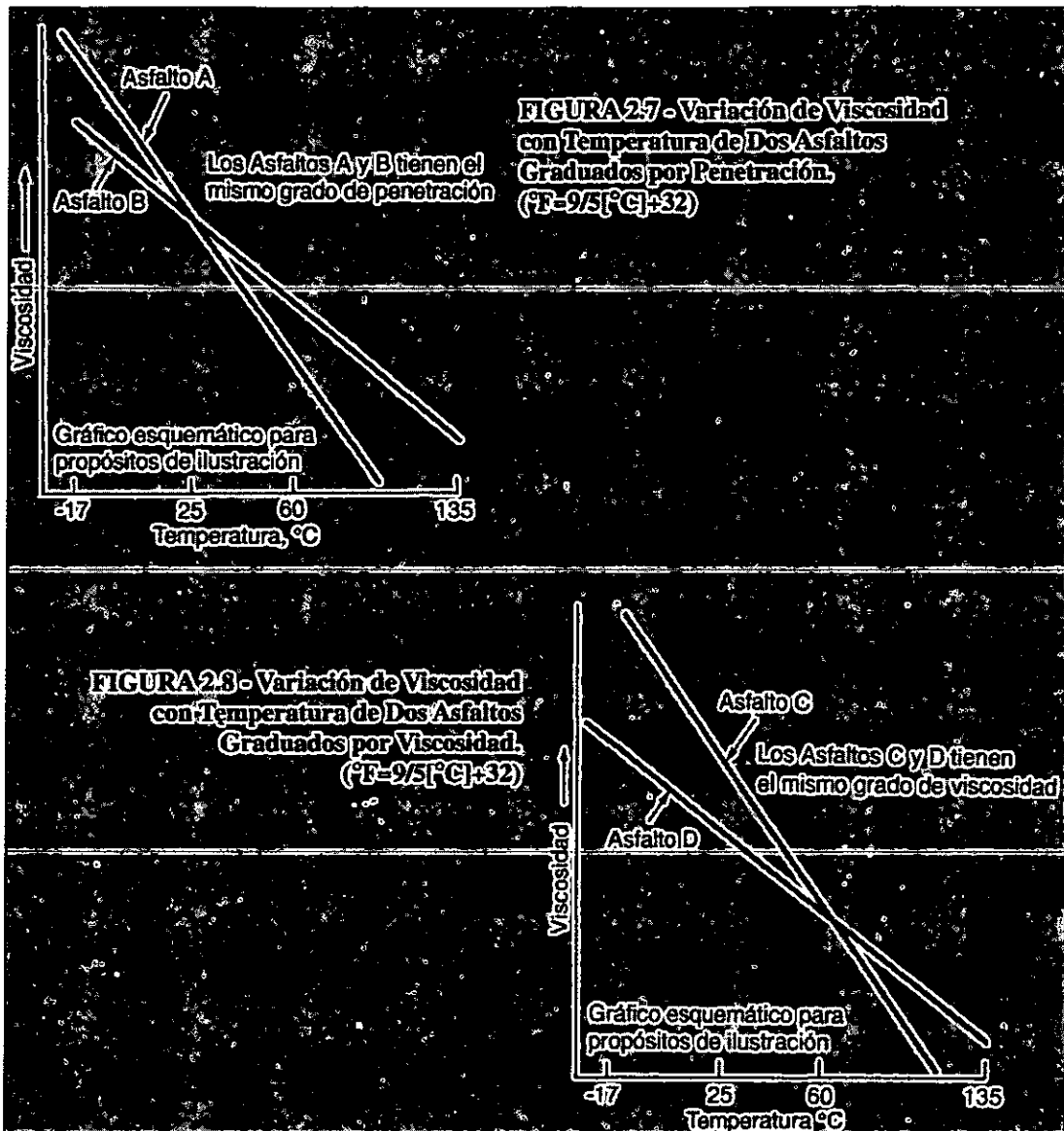
■ Susceptibilidad a la Temperatura

Todos los asfaltos son termoplásticos; esto es, se vuelven mas duros (mas viscosos) a medida que su temperatura disminuye, y mas blandos (menos viscosos) a medida que su temperatura aumenta. Esta característica se conoce como susceptibilidad a la temperatura. y es una de las propiedades mas valiosas en un asfalto. La susceptibilidad a la temperatura varía entre asfaltos de petróleos de diferente origen, aún si los asfaltos tienen el mismo grado de consistencia.

La Figura 2.7 ilustra este punto. La figura muestra la susceptibilidad a la temperatura de dos asfaltos (Asfalto A y Asfalto B) que tienen el mismo grado de penetración pero que provienen de crudos de diferente origen. Obsérvese que a 25°C (77°F) la viscosidad de los dos asfaltos es la misma. Sin embargo, a cualquier otra temperatura las viscosidades son diferentes. Esto se debe a que los dos asfaltos tienen diferente susceptibilidad a la temperatura.

Lo mismo puede ocurrir con dos asfaltos con el mismo grado de viscosidad pero provenientes de crudos de diferente origen. La Figura 2.8, por ejemplo, muestra que el Asfalto C y el Asfalto D tienen la misma viscosidad a una temperatura de 60°C (140°F). Sin embargo, a cualquier otra temperatura las viscosidades son diferentes. La conclusión es que, sin importar el sistema de clasificación utilizado, puede haber asfaltos derivados de crudos diferentes con diferente susceptibilidad a la temperatura.

Es muy importante conocer la susceptibilidad a la temperatura del asfalto que va a ser utilizado pues ella indica la temperatura adecuada a la cual se debe mezclar el asfalto con el agregado, y la temperatura a la cual se debe compactar la mezcla sobre la base de la carretera. Puede observarse, en referencia a la Figura 2.7, que a temperaturas mayores de 25°C (77°F), las cuales abarcan todas las temperaturas de construcción, el Asfalto A es menos viscoso (más fluido) que el Asfalto B. Como resultado, la temperatura necesaria para que el Asfalto A sea lo suficiente fluido y pueda cubrir apropiadamente las partículas de agregado en la mezcla es menor que la temperatura necesaria para obtener los mismos resultados con el Asfalto B. Lo mismo ocurre con las temperaturas de compactación. Puede ser necesario compactar una mezcla con el Asfalto A usando una temperatura menor que la requerida por una mezcla que contiene el Asfalto B.



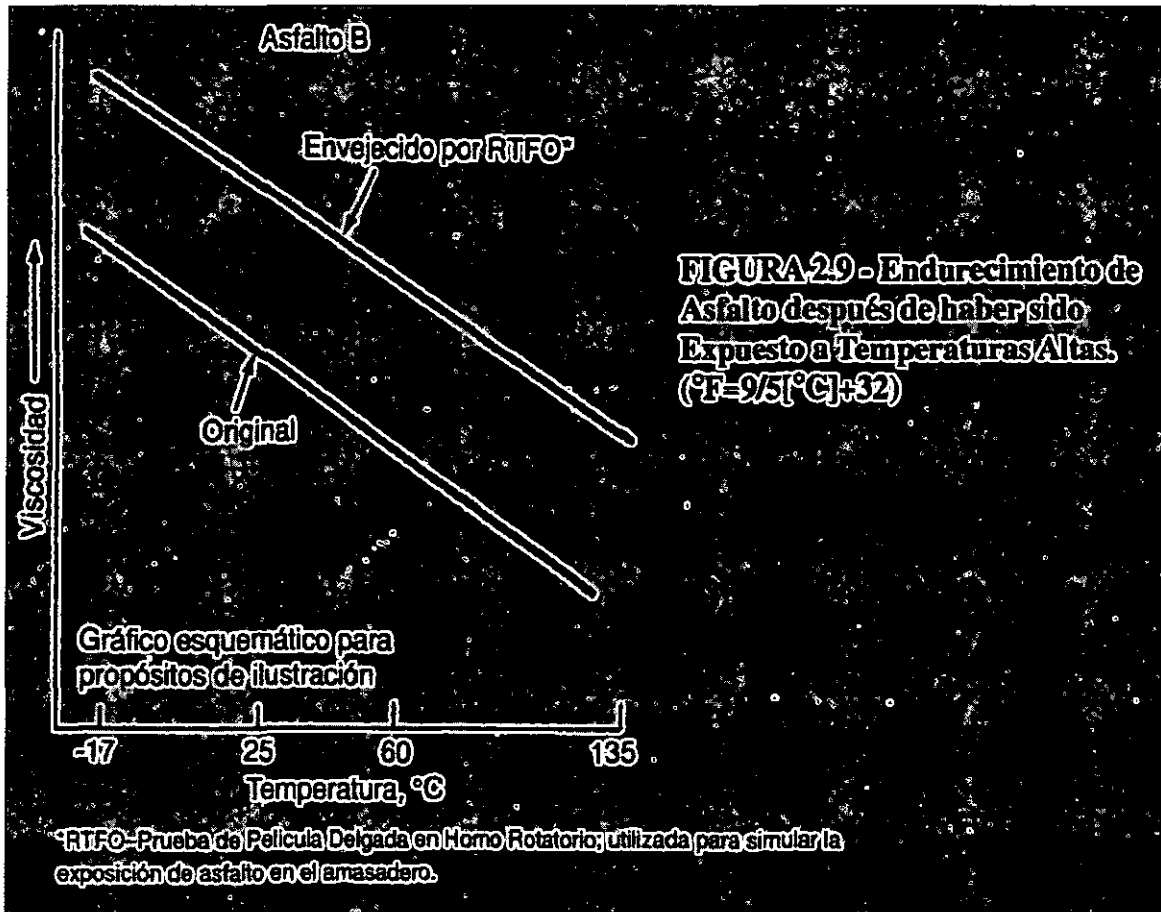
Debe entenderse qué es de vital importancia que un asfalto sea susceptible a la temperatura. Debe tener suficiente fluidez a altas temperaturas para que pueda cubrir las partículas de agregado durante el mezclado, y así permitir que estas partículas se desplacen unas respecto a otras durante la compactación. Luego deberá volverse lo suficiente viscoso, a temperaturas ambientales normales, para mantener unidas las partículas de agregado.

■ Endurecimiento y Envejecimiento

Los asfaltos tienden a endurecerse en la mezcla asfáltica durante la construcción, y también en el pavimento terminado. Este endurecimiento es causado principalmente por el proceso de oxidación (el asfalto combinándose con el oxígeno), el cual ocurre más fácilmente a altas temperaturas (como las temperaturas de construcción) y en películas delgadas de asfalto (como la película que cubre las partículas de agregado).

El asfalto se encuentra a altas temperaturas y en películas delgadas mientras esta revistiendo las partículas de agregado durante el mezclado. Esto hace que la oxidación y el endurecimiento más severo ocurran en esta etapa de mezclado. La Figura 2.9 muestra

el aumento en viscosidad debido al calentamiento de una película delgada de asfalto. El margen de viscosidad del material original (antes de la Prueba de Película Delgada en Horno Rotatorio - RTFO) es mucho menor que el margen obtenido después del calentamiento.



No todos los asfaltos se endurecen a la misma velocidad cuando son calentados en películas delgadas. Por lo tanto, cada asfalto debe ser ensayado por separado para poder determinar sus características de envejecimiento, y así poder ajustar las técnicas constructivas para minimizar el endurecimiento. Estos ajustes incluyen mezclar el asfalto con el agregado a la temperatura más baja posible, y durante el tiempo mas corto que pueda obtenerse en la práctica.

BREVE RESEÑA HISTÓRICA

El asfalto es un material de los más antiguos que se conocen, se han encontrado esqueletos prácticamente intactos de animales prehistóricos en depósitos superficiales de asfalto, como el que existe en La Brea, cerca de Los Ángeles, California.

Recientes excavaciones arqueológicas muestran el extenso uso del asfalto en los valles de la Mesopotamia y del Indo, entre los años 3200 a 540 A.C., como un material cementante para la construcción de mamposterías y de caminos, y como impermeabilizante para baños en los templos y otros depósitos de agua. Se dice que Noé

lo uso para calafatear su Arca y que también se empleó para sellar la canasta en que Moisés, siendo niño, fue depositado en las aguas del Nilo.

Por el año 300 A.C., los egipcios utilizaban ampliamente el asfalto para la preservación y momificación de sus muertos. Los Indios de América lo empleaban para impermeabilizar sus canoas, antes de que el hombre blanco llegara al Nuevo Continente; en México, los totonacas de la región de Papantla lo recogían de la superficie de las aguas para utilizarlo como medicina y como incienso para sus ritos; algunas tribus que habitaron las costas mexicanas lo masticaban para limpiar y blanquear su dentadura.

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

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

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

El uso de asfalto procedente de la destilación del petróleo se inició en los Estados Unidos en la segunda mitad del siglo XIX, contándose con las primeras refinerías por el año de 1886. El primer pozo petrolero de América se perforó en 1859, cerca de la población de Titusville, Pensylvania. En 1902 ya se produjeron del orden de 20 000 toneladas de asfalto como producto de la refinación del petróleo.

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

En México, el uso generalizado del asfalto se inició por el año de 1925, al emprenderse la construcción de los primeros caminos pavimentados, como consecuencia del aumento de vehículos automotores, no obstante que desde años atrás existían ya empresas extranjeras que explotaban y exportaban grandes cantidades de petróleo crudo de nuestro país, en el que la exploración petrolera comenzó en forma incipiente a partir de 1900, haciéndose en forma sistemática y organizada a partir de 1942. En el año de 1914 se usaron en Estados Unidos más de 300 000 toneladas de asfaltos procedentes de crudos mexicanos. El primer pozo petrolero propiamente dicho se perforó en México en mayo de 1901, en la región de El Ébano, S.L.P.

ORIGEN DEL ASFALTO

Teorías existentes al respecto

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

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

- A. Bajo la superficie terrestre existen carburos metálicos que en contacto con el agua se descomponen produciendo hidrocarburos, los que al condensarse en estratos superiores mas fríos, dieron lugar al petróleo.
- B. Los metales alcalinos que se encuentran en estado libre en el interior de la tierra reaccionan con el bióxido de carbono a altas temperaturas y estas reacciones, en contacto con el agua, producen los hidrocarburos que constituyen el petróleo.

Otros investigadores se inclinan por el origen orgánico del petróleo, sosteniendo que proviene de la descomposición de residuos de animales y vegetales que se han transformado en aceite. Este origen se estima mas razonable al comprobarse que los estratos en que se ha formado el petróleo no han estado nunca a temperaturas superiores a los 38° C, lo que descarta la teoría del origen inorgánico, ya que la obtención a partir de carburos metálicos requiere temperaturas mucho mas elevadas.

Estudios mas recientes hechos en laboratorio analizando rocas petrolíferas de campos productores, parecen confirmar un origen orgánico, ya que se han encontrado en ellas ciertas propiedades ópticas que sólo se localizan en sustancias orgánicas; por otro lado, el contenido de nitrógeno y otras sustancias en el petróleo, solamente puede proceder de materiales orgánicos.

También puede confirmar el origen orgánico, el hecho de que la mayor parte de los yacimientos de petróleo en el mundo se localizan en lugares que fueron ocupados por lagos y mares hace millones de años.

ASFALTOS NATURALES

Los asfaltos naturales se manifiestan de diversas formas, entre las que destacan las siguientes:

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

LAGOS. A veces, manantiales como los descritos, pero de gran caudal, situados en el fondo de depresiones profundas, pueden dar lugar a la formación de lagos de asfalto, como el muy conocido de Trinidad, cerca de las costas de Venezuela, que es uno de los mayores yacimientos de asfalto nativo en el mundo. Su superficie total es de unas 46 hectáreas. La masa de asfalto en este lago está continuamente en movimiento desde el centro hacia los bordes, lo que se atribuye a la entrada continua en el lago, por la parte central, de la corriente de asfalto que lo forma. El material, en su estado natural, es una emulsión de asfalto, gases, agua, arena y arcilla; para su mejor aprovechamiento, se somete a sencillos procesos de refinación que le eliminan las sustancias perjudiciales. Se dice que Colón usó asfalto de este Lago Trinidad para calafatear sus barcos en su viaje de regreso a España. El lago proporcionó también la mayor parte del asfalto que se usó en Estados Unidos en los trabajos de pavimentación, antes de la producción en gran escala del asfalto derivado del petróleo.

EXUDACIONES. Se presentan en rocas muy porosas saturadas de asfalto, de las que éste fluye bajo los efectos del calor o de alguna presión interior.

IMPREGNANDO ROCAS. Son bastante frecuentes los yacimientos de rocas más o menos porosas en las que el asfalto se encuentra llenando parcial o totalmente los poros, pero sin llegar a exudar. La proporción de asfalto contenido en estas rocas puede variar dentro de límites muy amplios, siendo de más utilidad aquellas cuya proporción de asfalto es mayor del 7%.

FILONES. Son intrusiones de asfalto en una masa rocosa, a través de grietas o fallas en algunos estratos o bien, son simplemente la sedimentación alternada de capas de asfalto y de otros materiales. El primer origen generalmente da lugar a filones inclinados o verticales y el segundo a filones horizontales. Es el caso de la llamada "Gilsonita" que se encuentra en algunas regiones de los Estados Unidos formando filones verticales que se explotan a cielo abierto. Son famosos los filones de asfalto que se encuentran en el lecho del Mar Muerto. El asfalto contenido en ellos se denomina "Asfaltites", caracterizándose por su elevado punto de fusión; cuando se desprende alguna cantidad de asfalto de esos filones, por efecto de terremotos u otras sacudidas, los trozos de asfalto, por su menor densidad, flotan en la superficie, donde pueden recogerse. Este asfalto no se exporta industrialmente, ya que las cantidades que pueden obtenerse son muy pequeñas; su principal interés estriba en que fue una de las primeras fuentes de suministro de asfalto en la antigüedad.

ASFALTOS DERIVADOS DEL PETRÓLEO

Casi todo el asfalto que se produce y utiliza actualmente en el mundo procede de la refinación del petróleo.

El petróleo se obtiene de yacimientos existentes en el subsuelo a diferentes profundidades, que pueden llegar a los 7 000 metros o más. Se presenta dentro de formaciones de tipo arenoso o calcáreo. Su color varía de ámbar a negro y su densidad es menor que la del agua. Se presenta generalmente encima de una capa de agua, hallándose en la parte superior una de gas. Las rocas almacenadoras de petróleo

corresponden a muy diversas edades geológicas. En nuestro País, proceden generalmente del periodo terciario de la era cenozoica.

No todos los petróleos crudos contienen asfalto y en los que lo contienen, las proporciones de éste son muy variables. Los crudos de petróleo se dividen fundamentalmente en 2 grupos: crudos parafínicos y crudos asfálticos. Los últimos son desde luego los más adecuados para la obtención de asfaltos. Ya que la frontera entre los crudos asfálticos y parafínicos no puede ser rígida, existen también crudos intermedios, llamados semiparafínicos.

MATERIALES ASFÁLTICOS QUE SE OBTIENEN A PARTIR DEL PETRÓLEO

Cementos asfálticos y asfaltos oxidados

La figura 1 es un esquema de la obtención del petróleo y del proceso de destilación a que se somete en las refinerías para obtener los diferentes materiales asfálticos.

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

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

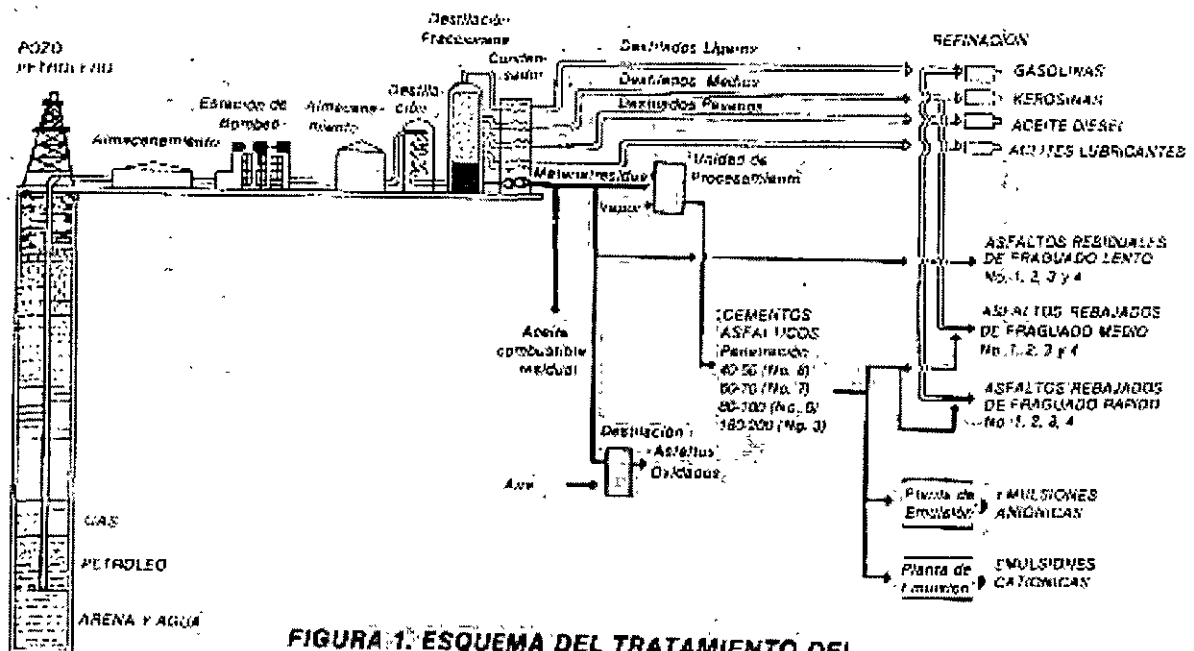


FIGURA 1. ESQUEMA DEL TRATAMIENTO DEL PETRÓLEO PARA OBTENER LOS DIVERSOS PRODUCTOS ASFÁLTICOS

El mismo residuo, si se le reduce a una determinada consistencia y se le inyecta aire a elevada temperatura, se obtiene lo que se llama un asfalto soplado u oxidado, que tiene propiedades que permiten utilizarlo para una diversidad de aplicaciones y de productos industriales, que incluyen asfalto para impermeabilización de azoteas, esmaltes para recubrimiento de tuberías, asfaltos para el sellado y levantamiento de pavimentos de concreto hidráulico que ha sufrido asentamientos y muchos otros.

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

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

El método de extracción de solventes hace uso de una fracción ligera de hidrocarburo de limitado poder de disolución, tal como el propano líquido. Se mezcla dicho solvente con el residuo de la primera destilación que hemos venido mencionando y esto hace que se produzca una separación en 2 fases: por un lado aceites y ceras y por el otro el asfalto. Un simple proceso de decantación permite separar las 2 fases. Controlando adecuadamente la operación se llega a obtener el cemento asfáltico de la consistencia requerida.

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

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

Es común designar a los cementos asfálticos, asfaltos rebajados y emulsiones asfálticas como materiales asfálticos.

Asfaltos rebajados

Los asfaltos rebajados son mezclas de cemento asfáltico con fracciones ligeras del petróleo. Estas fracciones se denominan generalmente solventes o diluentes. Cuando el solvente es del tipo de la nafta o gasolina se obtienen los asfaltos rebajados de fraguado rápido (FR). Si el solvente es semejante a la kerosina, se obtienen los asfaltos rebajados de fraguado medio (FM). La consistencia de estos productos está regida por las cantidades relativas y por las propiedades del solvente y del cemento asfáltico presentes. El otro tipo de asfalto rebajado está constituido por los de fraguado lento (FL), los cuales contienen cemento asfáltico y aceites ligeros; generalmente se obtienen directamente a partir del residuo de la primera destilación del petróleo, como ya se citó anteriormente. El proceso de obtención de los diferentes tipos de asfalto rebajado se lleva a cabo en las refinerías.

Emulsiones asfálticas

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

Se fabrican comercialmente 2 tipos de emulsiones asfálticas: las emulsiones aniónicas y las emulsiones catiónicas. Los 2 tipos se elaboran a partir de cementos asfálticos de determinadas consistencias. Una forma modificada de emulsión asfáltica puede fabricarse usando un asfalto líquido de fraguado rápido, medio o lento. Estas son las llamadas emulsiones inversas, lo que indica que el agua es dispersada en la fase de asfalto, en vez de que el asfalto sea el que se disperse en la fase acuosa. Se usa una variedad de agentes emulsificantes para controlar las propiedades de las emulsiones asfálticas.

COMPOSICIÓN DEL ASFALTO

Componentes fundamentales

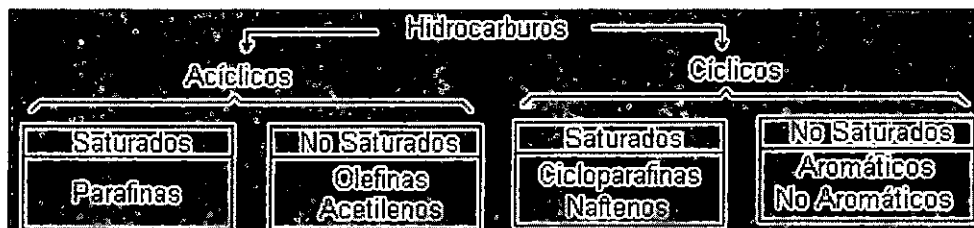
El asfalto es un compuesto constituido fundamentalmente por la mezcla de un gran número de hidrocarburos de diversos tipos, asociados en proporciones también muy variables.

La mayoría de estos hidrocarburos están presentes en el petróleo crudo, pero el proceso de destilación origina ciertas transformaciones químicas y hace que se eliminen los hidrocarburos ligeros, quedando en el asfalto sólo hidrocarburos pesados.

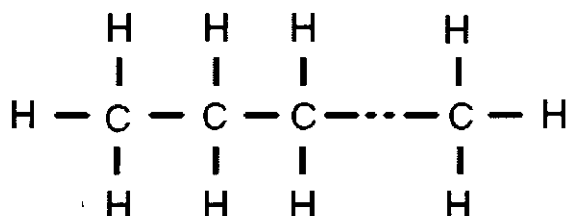
En los hidrocarburos constituyentes del asfalto los átomos de carbono se unen entre sí mediante cadenas o enlaces sencillos, dobles o triples y cuyas valencias libres se saturan con átomos de hidrógeno.

Clasificación general de los hidrocarburos

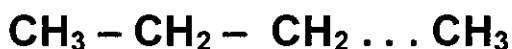
Los hidrocarburos pueden clasificarse en general, de la siguiente manera:



Los hidrocarburos acíclicos son aquéllos en los que la cadena de átomos de carbono no se cierra. Son saturados, si todos los enlaces entre los átomos de carbono son simples, y no saturados, en caso contrario. Unos y otros pueden ser ramificados si un átomo de hidrógeno es sustituido por una nueva cadena de carbonos. Los hidrocarburos acíclicos saturados se llaman parafinas y su fórmula es del tipo siguiente:

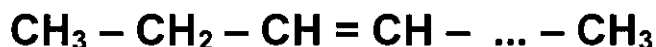


Que se puede escribir más simplemente:



El número de átomos de carbono puede variar desde uno (CH_4), hasta valores teóricamente tan grandes como se quiera. Los cuatro primeros términos de la serie son gaseosos, del 5 al 16 son líquidos y los demás sólidos. Las parafinas se caracterizan químicamente por su gran estabilidad.

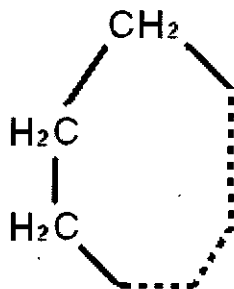
Los hidrocarburos acíclicos en que existen enlaces dobles se llaman olefinas. Su fórmula típica es:



El número mínimo de átomos de carbono es de 2. Los cuatro primeros términos de la serie son gaseosos; hasta el 18, son líquidos y los demás sólidos. Hierven a temperaturas ligeramente más altas que los hidrocarburos saturados del mismo número de átomos de carbono. Tienen gran tendencia a combinarse químicamente con multitud de sustancias y polimerizarse, es decir, a reunir varias de sus moléculas, dando lugar a un cuerpo más pesado.

Los hidrocarburos cíclicos que presentan un triple enlace entre 2 átomos de carbono se denominan hidrocarburos acetilenos.

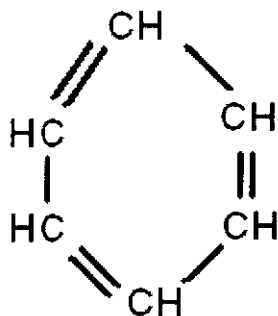
Los hidrocarburos cíclicos son aquéllos en que la cadena de átomos de carbono llega a cerrarse, formando anillos. Los hidrocarburos cíclicos saturados se llaman cicloparafinas o naftenos, cuya fórmula general es:



Los tipos más estables y, por tanto, más frecuentes, tienen 5 o 6 carbonos. En estos hidrocarburos cíclicos, igual que en los acíclicos, uno o varios átomos de hidrógeno pueden estar sustituidos por nuevas cadenas de átomos de carbono.

Las propiedades de los naftenos son muy similares a las de las parafinas. Las principales diferencias son mayor densidad y punto de ebullición más elevado que las parafinas correspondientes.

En los hidrocarburos cíclicos no saturados, uno o varios de los enlaces entre átomos de carbono son dobles. Son especialmente interesantes los hidrocarburos aromáticos, de los que el ejemplo típico es el benceno:



Son hidrocarburos caracterizados por la gran estabilidad del núcleo hexagonal presente en todos ellos. Los diferentes tipos de hidrocarburos que hemos mencionado pueden combinarse entre sí en infinidad de compuestos formados por uniones de cadenas parafínicas y olefínicas, anillos nafténicos simples o múltiples y anillos bencénicos, dando lugar a moléculas muy complicadas y prácticamente imposibles de clasificar.

Estructura físico-química del asfalto

El estudio de la composición química del asfalto en su conjunto resulta complicado, por lo que es frecuente recurrir al procedimiento de analizar primeramente su estructura física, que permite clasificar sus componentes en varias fracciones, y luego estudiar la composición química de cada una de estas fracciones en forma separada.

Los hidrocarburos que constituyen el asfalto forman una solución coloidal en la que un grupo de moléculas de los hidrocarburos más pesados están rodeadas por moléculas de

hidrocarburos más ligeros, sin que exista una separación franca entre ellas, sino por el contrario, una transición gradual.

Los núcleos de hidrocarburos más pesados forman los asfaltenos. Rodeando a los asfaltenos existen las resinas, que constituyen la fase intermedia y, finalmente, ocupando el espacio restante, se encuentran los aceites.

Podemos representar esquemáticamente la estructura física del asfalto como se muestra en la Figura 2.

La separación del asfalto en sus 3 fracciones o componentes principales, puede lograrse si se le disuelve en un hidrocarburo saturado de bajo punto de ebullición, con el que se logra romper la estructura coloidal, disolviéndose parte del material, mientras que el resto precipita en forma de partículas terrosas de color muy oscuro. Los cuerpos que precipitan son los asfaltenos y a los que se disuelven se les llama maltenos, estando integrados por las resinas y los aceites.

Las resinas y los aceites que constituyen los maltenos se separan a su vez haciendo pasar la solución anterior a través de un filtro de arcilla activada, que retiene las resinas y conserva en disolución los aceites. Los aceites pueden separarse de la solución destilando ésta y las resinas lavando el filtro con un disolvente más activo y destilando también posteriormente.

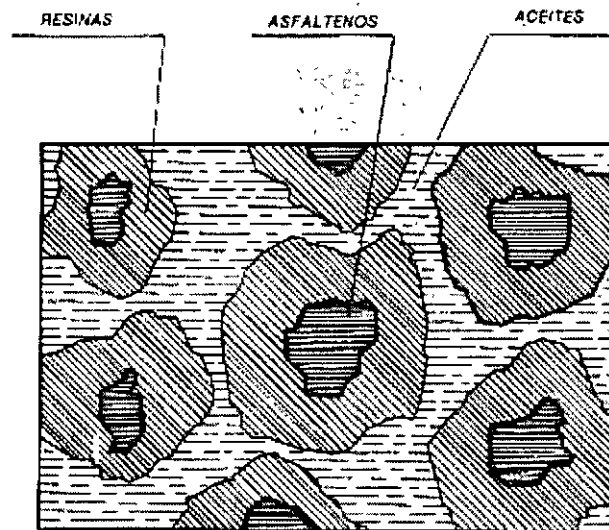


FIGURA 2. REPRESENTACION ESQUEMATICA DE LOS COMPONENTES DEL ASFALTO

La distinción que hemos hecho entre asfaltenos, resinas y aceites, no es absoluta, ya que las proporciones varían con el tipo de disolvente empleado en la precipitación de los asfaltenos y con el tipo de filtro empleado para la separación de las resinas, de tal manera que si se da como característica de un asfalto su contenido de asfaltenos, debe indicarse simultáneamente el tipo de disolvente empleado para la separación.

Esto confirma el hecho real de que no existen en la composición coloidal del asfalto fronteras bien definidas entre las fases, sino que todos sus componentes ordenan en una

transición gradual que va desde los asfaltenos más pesados hasta los aceites más ligeros, del mismo modo que se pasa insensiblemente de un color a otro en el espectro luminoso.

Los métodos disponibles para el análisis químico de los asfaltenos y de los maltenos (resinas y aceites), como por ejemplo, el método de la combustión, revelan que los asfaltenos se componen de hidrocarburos aromáticos con pocas cadenas parafínicas y los maltenos están constituidos principalmente por hidrocarburos saturados, tanto nafténicos como parafínicos, con cierto número de anillos aromáticos, elevado en las resinas pesadas y reducido en los aceites ligeros.

Otros materiales presentes en el asfalto

Además de los hidrocarburos que, como hemos indicado, son los componentes fundamentales de asfalto, tanto en el asfalto natural como en el procedente de la destilación del petróleo, se encuentran a veces trazas de oxígeno, nitrógeno, azufre y algunos otros elementos, cuya forma de presentación no es bien conocida

En los asfaltos naturales existen además diversas sustancias minerales, algunas de las cuales son simples impurezas que se sedimentan cuando se funden dichos asfaltos y otras existen en suspensión coloidal unidas íntimamente a la masa del propio asfalto y no son separables por filtración, de tal manera que a veces modifican sus propiedades en medida importante, facilitando en determinados casos algunas aplicaciones. En estos asfaltos naturales existen igualmente otras impurezas de origen vegetal, procedentes de los suelos existentes en el lugar del yacimiento.

Asimismo, tanto en los asfaltos nativos como en los que se obtienen de la destilación del petróleo, es factible encontrar trazas del metal de los hornos o depósitos con los que han estado en contacto.

PROPIEDADES DEL ASFALTO

Características generales que imparten al asfalto sus diferentes componentes: asfaltenos, resinas y aceites.

Los asfaltenos son responsables de las características de dureza de los asfaltos. Las resinas le proporcionan sus propiedades cementantes o aglutinantes y los aceites la consistencia adecuada para hacerlos trabajables.

Cuando los núcleos de asfaltenos y resinas se encuentran dentro de una gran proporción de aceites, la consistencia de asfalto está fijada por los aceites.

Si por un proceso de destilación, por ejemplo, reducimos el contenido de aceites, los núcleos de asfaltenos comienzan a ponerse en contacto y la fricción que este fenómeno origina hace que el asfalto adquiera viscosidad. La proporción en que exista cada uno de los componentes determina, por tanto, la consistencia del asfalto. En el caso de los cementos asfálticos predominan los asfaltenos y las resinas y es bajo el contenido de los aceites.

Los aceites protegen a los asfaltenos y a las resinas de la oxidación provocada por los agentes del intemperismo y es lógico pensar que esta protección será más eficiente, cuanto mayor sea la proporción de aceites en el asfalto. Esta acción del intemperismo produce cambios en la estructura interna del asfalto, haciendo que con el tiempo los aceites se transformen en resinas y éstas a su vez en asfaltenos, lo cual hace aumentar la dureza del asfalto al incrementarse la proporción de los citados asfaltenos.

Este efecto del intemperismo es menos perjudicial cuando el asfalto se aplica en películas que no son muy delgadas, por lo que en el caso de mezclas para capas de rodamiento, conviene que la película de asfalto sea lo más gruesa posible, compatible, desde luego, con la estabilidad de la capa; cuando la película es muy delgada, se aceleran los cambios en la estructura del asfalto, se origina una rigidez inconveniente en la mezcla y se propicia su agrietamiento.

Propiedades superficiales e interfaciales que influyen en la adhesividad o adherencia del asfalto con los materiales pétreos.

La adhesividad entre agregado y asfalto puede definirse como la propiedad de éste de adherirse a la superficie del agregado y de mantener esta condición en presencia del agua. El fenómeno por el que se efectúa la adhesividad o adherencia del asfalto al material pétreo es un fenómeno complejo y existen varias teorías que pretenden explicarla. Entre ellas, son dignas de mencionarse las siguientes:

EL CONCEPTO DE REACCIÓN QUÍMICA. Cuando los agregados son "mojados" por el asfalto ocurre una adsorción selectiva en la frontera, seguida de una reacción química entre el material adsorbido y los constituyentes de la fase sólida. Bajo estas condiciones, los componentes ácidos del material bituminoso reaccionan con el material básico del agregado para formar compuestos insolubles en el agua. De acuerdo con esto, los agregados que contienen un exceso de constituyentes básicos son hidrófobos, como las calizas y las dolomitas, y los que contienen un exceso de constituyentes ácidos son hidrófilos, como la cuarcita y el granito.

EL CONCEPTO MECÁNICO. Según este concepto, la textura superficial agregado es el factor principal que afecta la adhesividad mecánica. Factores tales como el tamaño de las caras de los cristales individuales, porosidad agregado, adsorción, cubrimiento de la superficie y angulosidad de partículas, influyen mecánicamente en la adhesividad en presencia del agua.

EL CONCEPTO DE ENERGÍA EN LA SUPERFICIE. Se considera que la adhesividad es el resultado de las relaciones de energía interfacial en la frontera agregado-asfalto-agua-aire, que permiten explicar los mecanismos de cubrimiento, mojado y desprendimiento de la superficie del agregado. Generalmente cuando un líquido y un sólido se ponen en contacto, el líquido: a) puede no cubrir ni mojar la superficie sólida; b) puede cubrir la superficie mojarla; o c), puede cubrir y mojar la superficie. El grado de cubrimiento, mojado y desprendimiento es una función de la tensión superficial, la tensión interfacial y la tensión de adhesión de las fases involucradas. Generalmente tensión de adhesión agua-agregado es mayor que la de asfalto-agregado; por tanto, el agua tenderá a desalojar o desprender la cubierta asfáltica en la frontera. La cantidad de desprendimiento dependerá de la magnitud de las energías libres que están en juego.

Dentro de estas 3 teorías, la que corresponde al concepto de energía en la superficie es la más ampliamente aceptada. Proporciona una base física para establecer una expresión cuantitativa y una evaluación de las condiciones de adhesividad y el efecto del agua. Esta expresión puede obtenerse del estado de equilibrio de las fuerzas interfaciales en el punto de contacto de agregado, agua y asfalto.

Para que exista el cubrimiento, la tensión interfacial agregado-asfalto, debe por tanto ser menor que la tensión interfacial agua-asfalto y es ésta desde luego la condición primaria que se requiere para que pueda existir adhesividad, pues si no hay cubrimiento no tiene sentido hablar de adhesividad. Entre menor sea el ángulo de contacto, mayor será el potencial de adhesividad entre el agregado y el asfalto. Logrado el cubrimiento, la mayor o menor adhesividad estará en función de la mayor o menor atracción que exista entre la superficie del material pétreo y el asfalto, la que a su vez dependerá de las cargas eléctricas presentes en la superficie de contacto.

Los materiales básicos mencionados anteriormente, presentan por lo general una superficie electropositiva y en los de naturaleza ácida la superficie tiene cargas electronegativas. Por tanto, un asfalto con cargas eléctricas negativas, tendrá buenas características de adhesividad con los materiales básicos, por la atracción eléctrica existente y no presentará adecuada adhesividad con los materiales ácidos, al tener éstos cargas del mismo signo. Análogamente, si el asfalto tiene cargas eléctricas positivas, será atraído por los materiales ácidos que son electronegativos y no lo será por los materiales básicos, cuyas cargas son electropositivas.

Por tanto, las mejores condiciones de adhesividad entre un asfalto y un material pétreo se presentarán cuando la tensión superficial del asfalto sea baja y al mismo tiempo las cargas eléctricas existentes en uno y otro, sean de signos opuestos.

Procedimientos para mejorar las características de adhesividad asfalto - agregado

La durabilidad de las mezclas asfálticas de pavimentación puede lograrse asegurando y manteniendo la adherencia entre asfalto y agregado en presencia del agua. La pérdida de adhesividad en la mezcla, que ocasiona el desprendimiento de la película de asfalto, induce inestabilidad y propicia condiciones de falla en el pavimento. Esta situación puede observarse con frecuencia en mezclas asfálticas en las que se han usado materiales pétreos hidrófilos.

No siempre es posible elegir el tipo de agregados adecuados para obtener características durables de adhesividad en las mezclas asfálticas. En algunos lugares sólo se dispone de materiales hidrófilos y ya que el acarreo de agregados de buena calidad desde zonas alejadas resulta antieconómico, es inevitable uso de dichos materiales locales, por lo que debe recurrirse entonces a ciertas modificaciones para asegurar una buena adhesividad. Tales modificaciones pueden ser

Modificación de las propiedades adhesivas del asfalto, mediante el uso de agentes tenso-activos, que abaten su tensión superficial.

Modificación de las propiedades superficiales del material pétreo mediante la aplicación, previa a la elaboración de la mezcla o la construcción de un tratamiento superficial, en su caso, de una solución de cemento Pórtland-agua o cal hidratada-agua. La acción de estos fillers en la mezcla puede ser similar a la que se logra con los agentes tenso-activos que se agregan al asfalto.

Cambios en el tipo de asfalto, que no afecten las características generales del trabajo o tratamientos al material pétreo, como lavado, trituración, etc., que hagan que las partículas del mismo ofrezcan caras más favorables para una mejor adhesividad.

Propiedades reológicas

La reología es la rama de la Mecánica que estudia el comportamiento de la materia a través del tiempo de aplicación de una carga, e incluye propiedades de flujo y deformación, como la viscosidad, ductilidad, fragilidad, etc.

La estructura coloidal de los ligantes asfálticos hace bastante complicado el estudio de sus propiedades reológicas, que se dificulta aún más por el acentuado carácter termoplástico de estos materiales. Este carácter, o sea la propiedad que tienen de ablandarse y hacerse deformables por efecto del calor, recuperando al enfriarse sus propiedades originales, es el que ha hecho posible el empleo del asfalto como ligante desde la más remota antigüedad, pero es también el que más complica sus propiedades reológicas, pues todas deben estudiarse en general como funciones de la temperatura representadas por curvas o menos complicadas.

Consistencia y susceptibilidad

La consistencia de un asfalto, como de cualquier otro material, es el estado físico que presenta en un momento dado, con relación a los estados sólido, sólido y gaseoso de la materia. Como lo hemos mencionado anteriormente, el asfalto, a las temperaturas ambientes normales, es un material sólido o semisólido que mediante calentamiento pasa gradualmente al estado líquido. Es decir, la consistencia del asfalto depende principalmente de su temperatura, propiedad que se menciona usualmente como susceptibilidad.

MUESTREO DE MATERIALES ASFÁLTICOS

Aquí se describe el procedimiento para el muestreo de los materiales asfálticos, a fin de comprobar que éstos cumplan con los requisitos de calidad establecidos en dicha Norma.

El muestreo consiste en obtener una porción representativa del volumen de material asfáltico en estudio. Se realiza en materiales almacenados en uno o varios depósitos o durante las maniobras de carga, descarga o aplicación. El muestreo incluye las operaciones de envase, identificación y transporte de las muestras.

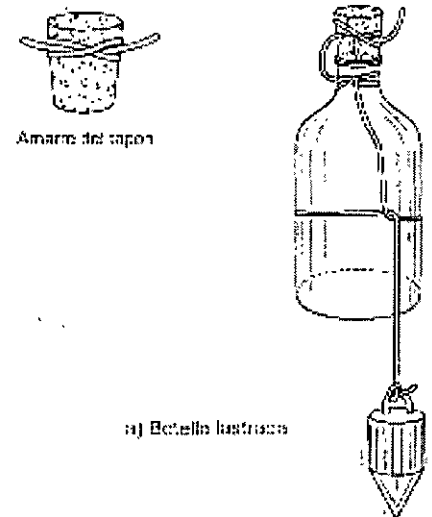
MUESTREO EN UN SOLO DEPÓSITO

El muestreo del material asfáltico que esté almacenado en un solo depósito, como tanque estacionario, fosa o carro tanque, se hace tomando en cuenta lo siguiente.

Previamente se observan las condiciones en que se encuentra el material asfáltico, y en caso de que existan cantidades apreciables de impurezas tales como sedimentos, agua libre o espuma, entre otros, se estima el volumen de éstas, y de ser necesario se toman muestras de dichas impurezas para su identificación.

Los materiales asfálticos sólidos o semisólidos se calientan solamente lo indispensable para facilitar su muestreo.

Para la ejecución del muestreo, todo el equipo a emplear ha de estar en condiciones óptimas para su uso, limpio, completo en todas sus partes y sin desgaste. Consiste fundamentalmente en un muestreador como los que se ilustran en la Figura 1 de este Manual, formado por un recipiente metálico o de vidrio, convenientemente lastrado y provisto de un tapón de corcho que pueda retirarse desde el exterior mediante una cadena o cordel. El recipiente ha de estar sujeto al extremo de una varilla metálica o de madera, o bien a otro cordel, de tal forma que estando tapado y con la boca hacia arriba pueda sumergirse hasta la profundidad deseada.



Para la obtención de las muestras de material asfáltico de un depósito, se procede como se indica a continuación:

Para extraer las muestras, se sumerge el muestreador perfectamente seco y limpio, tomándolas, en su caso, de la parte media o de los tercios superior, medio e inferior del contenido del depósito. El número de muestras, así como su nivel de extracción, se determina según lo indicado en la Tabla 1 de este Manual.

Cada muestra será de aproximadamente 2 L en el caso de cementos asfálticos y de 4 L si se trata de emulsiones asfálticas o asfaltos rebajados. Para obtener estos volúmenes es necesario llenar varias veces el muestreador, introduciéndolo a igual profundidad cuando se integre una misma muestra, evitando alterar las condiciones del material que está siendo muestreado.

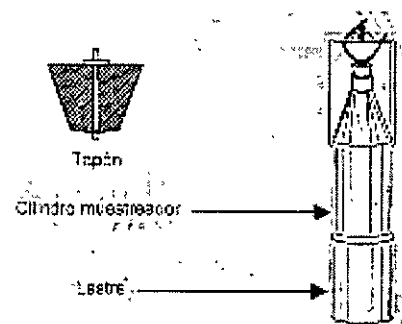


TABLA 1.- Número de muestras y nivel de muestreo en función del tirante de asfalto en el depósito

Tirante del material asfáltico en por ciento del tirante máximo	Nivel de muestreo en por ciento del tirante máximo			Número total de muestras
	Superior	Medio	Inferior	
100	80	50	20	3
90	75	50	20	3
80	70	50	20	3
70	---	50	20	2
60	---	50	20	2
50	---	40	20	2
40	---	---	20	1
30	---	---	15	1
20	---	---	10	1
10	---	---	5	1

[1] El tirante máximo corresponde al diámetro vertical de tanques horizontales o la altura de depósitos verticales.

[2] Se debe extraer una muestra por cada nivel señalado.

[3] Cuando el tirante sea menor del 10% no se debe utilizar el material asfáltico.

Las muestras obtenidas a distintas profundidades se depositan en diferentes recipientes con objeto de analizar cada una y determinar si existe heterogeneidad en el material; sólo en el caso de que éste vaya a ser homogeneizado para su utilización, se pueden mezclar para formar una muestra integral, como sigue:

Si se trata de depósitos verticales, la muestra integral se forma con partes iguales de las muestras tomadas a diferentes profundidades según lo indicado en la Tabla 1.

Si se trata de tanques cilíndricos horizontales, la muestra integral se forma de acuerdo con lo indicado en la Tabla 2.

TABLA 2.- Composición de muestras integrales de materiales asfálticos que se almacenen en tanques cilíndricos horizontales

Tirante del material asfáltico en por ciento del diámetro vertical	Porcentajes en volumen para formar la muestra integral		
	Superior	Medio	Inferior
100	30	40	30
90	30	40	30
80	20	50	30
70	---	60	40
60	---	50	50
50	---	40	60
40	---	---	100
30	---	---	100
20	---	---	100
10	---	---	100

MUESTREO EN VARIOS DEPÓSITOS

El muestreo del material asfáltico que esté envasado en varios recipientes o depósitos, como tambores o cuñetes, se hace tomando en cuenta lo siguiente:

Previamente al muestreo, se evalúa el estado físico en que se encuentra el material asfáltico y se agrupan los recipientes por lotes del mismo producto, origen y fabricación, para fijar el número de muestras parciales que deban obtenerse.

Para la ejecución del muestreo, todo el equipo a emplear ha de estar en óptimas condiciones para su uso, limpio, completo en todas sus piezas y sin desgaste. El equipo que se requiere cuando el material asfáltico esté en estado líquido, es el que se describió o bien, si está en estado sólido o semisólido, herramientas como hacha, martillo y espátula.

OBTENCIÓN DE LA MUESTRA

Para la obtención de las muestras de material asfáltico envasado en varios recipientes o depósitos, se procede como se indica a continuación:

Según lo indicado en la Tabla 3 de este Manual, se determina el número de recipientes o depósitos a muestrear, seleccionándolos aleatoriamente. Si en un almacenamiento se encuentran depósitos con material asfáltico de dos o más lotes, se aplica lo anterior a cada uno de ellos.

TABLA 3.- Número de depósitos a muestrear

Número de depósitos que forman el lote (Lo)	Número de depósitos que deben muestrearse (n)
2 a 10	2
11 a 30	3
31 a 65	4
66 a 125	5
126 a 215	6
216 a 345	7
346 a 515	8
516 a 735	9
736 a 1000	10
más de 1000	$n=Lo^{1/3}$

En cada uno de los depósitos seleccionados de materiales asfálticos líquidos, se procede como se indico anteriormente, excepto que el muestreo puede efectuarse en uno o dos niveles, obteniendo las muestras de lugares que disten más de 10 cm de la superficie del material y de las paredes del depósito. Las muestras tomadas se prueban en forma individual si así se requiere o bien, pueden mezclarse para formar una muestra integral.

Cuando se trate de materiales asfálticos sólidos o semisólidos, que no resulte práctico fluidificar para el muestreo, se utiliza hacha, cincel, o herramienta similar. Una vez que han sido seleccionados los recipientes o depósitos de acuerdo con lo indicado anteriormente, se toman muestras de aproximadamente 2 kg, a una profundidad mayor de 10 cm de la superficie del material asfáltico, en su parte central.

MUESTREO DURANTE LAS MANIOBRAS DE CARGA Y DESCARGA O DE APLICACIÓN DEL MATERIAL ASFÁLTICO.

El muestreo durante las maniobras de carga y descarga o de aplicación del material asfáltico, se hace directamente en el conducto de la descarga, tomando tres porciones, en recipientes de 2 L de capacidad y de boca ancha, una al iniciarse la maniobra, otra a la mitad y la última al final. Las porciones tomadas se mezclan en un recipiente limpio, del que se obtiene una muestra integral de 2 L si se trata de cementos asfálticos o de 4 L en el caso de emulsiones asfálticas o asfaltos rebajados.

ENVASE, IDENTIFICACIÓN, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO

Las muestras obtenidas se envasan, identifican, transportan y almacenan, tomando en cuenta lo siguiente:

Las muestras se envasan en recipientes de volumen suficiente, perfectamente limpios y secos antes de ser llenados, que pueden ser de lámina, vidrio o plástico cuando se trate de emulsiones asfálticas o asfaltos rebajados, y solamente de lámina de boca ancha cuando se trate de cementos asfálticos. Durante el envase se han de tener las siguientes precauciones:

- Que las muestras no se contaminen con polvo u otras materias extrañas.
- Que los recipientes queden llenos cuando se trate de materiales asfálticos líquidos y en cualquier caso, perfectamente tapados con objeto de evitar pérdidas de su contenido.
- Que en ningún caso utilicen tapones de hule.

IDENTIFICACIÓN

Las muestras se identifican mediante etiquetas que se fijan en los envases, en las cuales se anotan los siguientes datos claramente escritos:

- Remitente
- Tipo de material
- Procedencia del material
- Número de lote

- Tamaño del lote (expresado mediante el número de recipientes o depósitos que compone el lote y el volumen o masa promedio del material que contiene cada uno, o cuando se trate de un solo depósito, mediante el volumen de material que contiene)
- Fecha de fabricación o suministro del material
- Uso a que se destina
- Obra
- Tipo de muestra (parcial o integral) y su número
- Lugar de muestreo
- Temperatura del producto al momento del muestreo, con una aproximación de $\pm 1^\circ$ C.
- Nivel a que se tomó la muestra
- Observaciones
- Fecha y hora del muestreo

Los datos indicados en el Inciso anterior también se anotan en una libreta de campo, así como todas las observaciones que se consideren necesarias.

TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO

Para transportar las muestras correctamente envasadas, del sitio de su obtención al laboratorio encargado de su análisis, se acomodan en el vehículo de transporte de tal modo que no se golpeen o dañen. Una vez recibidas en el laboratorio, se registran asignándoles un número de identificación para su prueba y se almacenan perfectamente tapadas en lugares frescos que no estén sujetos a cambios bruscos de temperatura. En general no es conveniente conservar las muestras en el laboratorio durante más de un mes antes de ser ensayadas.

VISCOSIDAD DINÁMICA DE CEMENTOS Y RESIDUOS ASFÁLTICOS

Este Manual describe el procedimiento de prueba para determinar la viscosidad dinámica de los cementos asfálticos o residuos de la destilación de emulsiones y asfaltos rebajados, en muestras tomadas conforme al Manual para *Muestreo de Materiales Asfálticos*.

Esta prueba permite determinar la consistencia de los materiales asfálticos mediante sus características de flujo a una temperatura de 60° C (40° F). Es aplicable a materiales asfálticos que tengan una viscosidad 4.2 a 20 000 Pa.s (42 a 200 000 P).

La prueba consiste en determinar el tiempo que tardan en pasar 20 mL del material por probar a través de un tubo capilar al vacío bajo condiciones de presión y temperatura preestablecidas, corregido por el factor de calibración del viscosímetro.

El equipo para la ejecución de la prueba estará en condiciones de operación, calibrado, limpio y completo en todas sus partes. Todos los materiales por emplear serán de alta calidad, considerando siempre la fecha de su caducidad.

VISCOSIMETRO

De tipo capilar, cilíndrico, hecho de vidrio de borosilicato templado. Puede ser de los siguientes tipos:

Viscosímetro capilar de vacío del Instituto del Asfalto (AIVV)

Como el mostrado en la Figura 1 y que cumpla con las características establecidas en la Tabla 1. Contará con bulbos de medición (B, C y D) localizados en el brazo (M) del viscosímetro, el cual es un capilar de vidrio perforado de precisión. Los bulbos serán segmentos capilares y estarán separados por marcas para cronometraje (F, G, H, I). Además, el viscosímetro contará con un soporte que lo mantenga en posición vertical cuando se coloque en el baño. Este soporte se puede conseguir comercialmente; sin embargo, es posible fabricar uno, taladrando dos orificios en un tapón N°11 de hule, de 22 y 8 mm respectivamente, con una distancia de centro a centro de los orificios de 25 mm. Se hace una ranura entre ambos orificios y también entre el orificio de 8 mm y la orilla del tapón. Cuando se coloca en un orificio de 51 mm (2") en la cubierta del baño, el tapón mantiene al viscosímetro en su lugar.

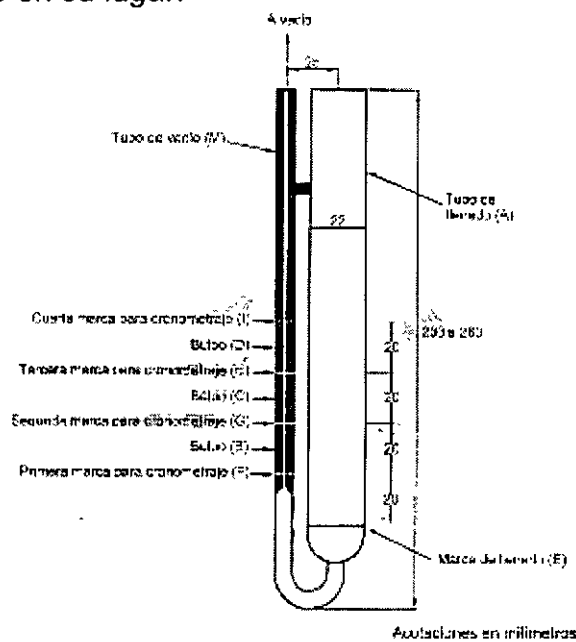


FIGURA 1. Viscosímetro capilar de vacío del Instituto del Asfalto (AIVV)

Viscosímetro de vacío Koppers modificado (MKVV)

Como el mostrado en la Figura 2 de este Manual y que cumpla con las características establecidas en la Tabla 2. Consistirá en un tubo de llenado (A) y un tubo de vidrio perforado capilar de vacío de precisión (M), unidos por una junta de borosilicato (N), con un filo estándar 24/40. Los bulbos de medición (B, C, y D), serán segmentos capilares de 20 mm de longitud, separados por marcas para cronometraje (F, G, H, I).

Además contará con un soporte que lo mantenga en posición vertical cuando se coloque en el baño. Este soporte se puede conseguir comercialmente, sin embargo es posible

fabricar uno, taladrando un orificio de 28 mm en el centro de un tapón N°11 de hule y cortando al tapón entre el orificio y la orilla. Cuando se coloca en un orificio de 51 mm (2") en la cubierta del baño, el tapón mantiene al viscosímetro en su lugar.

TABLA 1.- Tamaños de viscosímetros estándar, radio capilar, factores de calibración aproximados (K) y rangos de viscosidad para viscosímetros capilares de vacío del Instituto del Asfalto (AIVV)

Tamaño nominal	Radio capilar mm	Factor de calibración aproximado (K) capilar vacío de 300 mm Hg Pa (P/s)			Rango de viscosidad dinámica, Pa.s (P)
		Bulbo B	Bulbo C	Bulbo D	
25	0,125	0,2 (2)	0,1 (1)	0,07 (0,7)	4,2 a 80 (42 a 800)
50	0,25	0,8 (8)	0,4 (4)	0,3 (3)	18 a 320 (180 a 3 200)
100	0,50	3,2 (32)	1,6 (16)	1 (10)	60 a 1 280 (600 a 12 800)
200	1,0	12,8 (128)	6,4 (64)	4 (40)	240 a 5 200 (2 400 a 52 000)
400	2,0	50 (500)	25 (250)	16 (160)	960 a 20 000 (9 600 a 200 000)
400R	2,0	50 (500)	25 (250)	16 (160)	960 a 14000 (9 600 a 140 000)
800R	4,0	2 00 (2 000)	100 (1 000)	64 (640)	3 800 a 580 000 (38 000 a 5 800 000)

- [1] Los factores de calibración exactos se obtendrán con viscosidad estándar.
 [2] Los rangos de viscosidad corresponden a tiempos de llenado de 60 y 400 s. En ocasiones especiales se pueden utilizar tiempos de flujo mayores, incluso superiores a 1 000 s.
 [3] En estos casos se tienen marcas adicionales a 5 y 10 mm arriba de la marca para cronometraje F (ver Figura 1), para diseños especiales de asfaltos en cubiertas. Así, el rango de viscosidad máxima medible se incremento respecto a aquel que utiliza al factor de calibración del bulbo B.

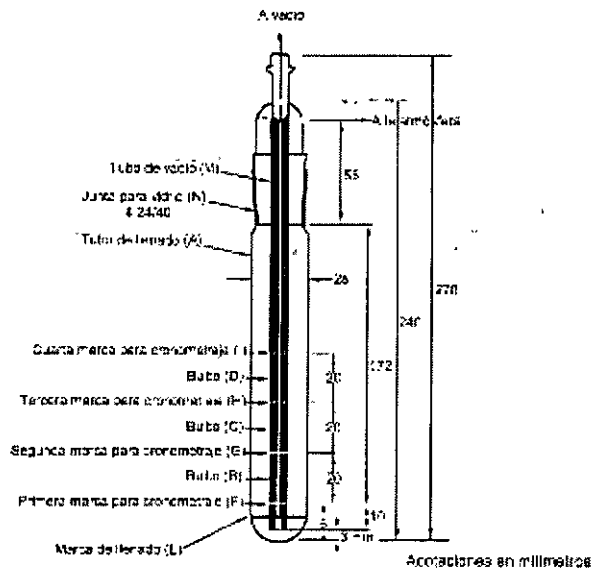


FIGURA 2.- Viscosímetro capilar de vacío Koppers modificado (MKVV)

TERMÓMETROS

De inmersión total, con escala que abarque de 0 a 150°C y aproximación de 0,2°C.

TABLA 2.- Tamaños de viscosímetros estándar, radio capilar, factores de calibración aproximados (K), y rangos de viscosidad para viscosímetros capilares de vacío Koppers modificados (MKVV)

Tamaño nominal	Radio capilar mm	Factor de calibración aproximado (K) capilar vacío de 300 mm Hg Pa (P/s)			Rango de viscosidad dinámica, Pa.s (P)
		Bulbo B	Bulbo C	Bulbo D	
25	0,125	0,2 (2)	0,1 (1)	0,07 (0,7)	4,2 a 80 (42 a 800)
50	0,25	0,8 (8)	0,4 (4)	0,3 (3)	18 a 320 (180 a 3 200)
100	0,50	3,2 (32)	1,6 (16)	1 (10)	60 a 1 280 (600 a 12 800)
200	1,0	12,8 (128)	6,4 (64)	4 (40)	40 a 5 200 (2 400 a 52 000)
400	2,0	50 (500)	25 (250)	16 (160)	960 a 20 000 (9 600 a 200 000)

[1] Los factores de calibración exactos se obtendrán con viscosidad estándar.

[2] Los rangos de viscosidad corresponden a tiempos de llenado de 60 y 400 s. En ocasiones especiales se pueden utilizar tiempos de flujo mayores, incluso superiores a 1 000 s.

BAÑO

Con las dimensiones adecuadas para que la marca para cronometraje superior de los viscosímetros, pueda ubicarse por lo menos a 20 mm por debajo de la superficie del líquido del baño.

Que permita observar en todo momento tanto el viscosímetro como el termómetro.

Que forme parte integral del viscosímetro t o que cuente con un soporte firme para este último.

SISTEMA DE VACIO

Que tenga un sistema general como el que se muestra esquemáticamente en la Figura 3.

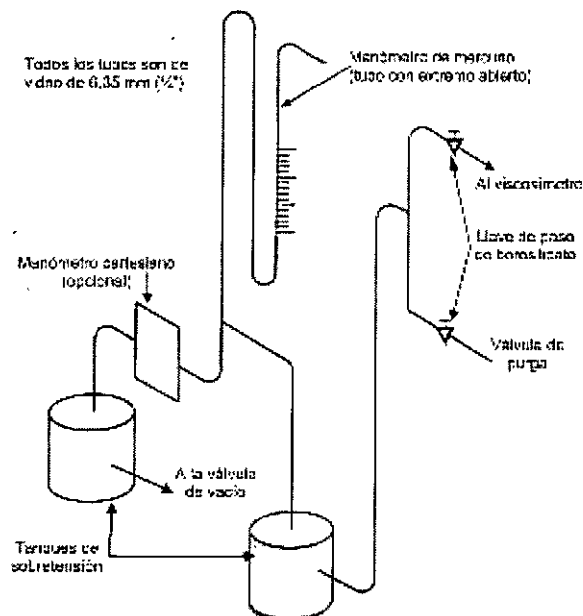


FIGURA 3 Sistema de vacío sugerido para viscosímetros capilares de vacío

Capaz de mantener un nivel d vacío de hasta 300 mm Hg con aproximación de $\pm 0,5$ mm Hg.

A base de tubos de vidrio con un diámetro interior de 6,35 mm (1/4"), con juntas herméticas entre los tubos que garanticen que no se pierda el vacío.

Que cuente con un manómetro de mercurio con un extremo abierto, con aproximación de 1 mm Hg y una bomba de vacío.

CRONÓMETROS

Dos cronómetros, con aproximación de 0,1 s y precisión de $\pm 0,05\%$.

LÍQUIDO PARA LLENAR EL BAÑO

Agua destilada.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

La muestra de prueba, según se trate de cemento asfáltico, del residuo de la prueba de película delgada o del residuo asfáltico obtenido por destilación de una emulsión o de un asfalto rebajado, se prepara como se indica a continuación:

Todos los tubos son de Manómetro de mercurio vidrio de 6,35 mm (1/4") tubo con extremo abierto)

MUESTRA DE CEMENTO ASFÁLTICO

Se calienta la muestra en un recipiente apropiado, agitándola ocasionalmente para evitar el sobrecalentamiento local y distribuir el calor uniformemente hasta que adquiera la fluidez suficiente que facilite su vaciado.

Se vacían 20 mL de la muestra en un contenedor adecuado y se calienta hasta alcanzar una temperatura de $135 \pm 5.5^\circ \text{C}$ ($275 \pm 10^\circ \text{F}$), agitándola ocasionalmente para evitar el sobrecalentamiento local, distribuir el calor uniformemente y evitar que quede aire atrapado.

RESIDUO DE LA PRUEBA DE PELÍCULA DELGADA

El residuo de la prueba de película delgada, según se indica en el Manual para *Pruebas en el Residuo de la Película Delgada de Cementos Asfálticos*, se prepara colocando las charolas sobre las placas de asbesto-cemento; después se acomoda el conjunto sobre la plataforma circular, se introduce en el horno, que estará a una temperatura de 163°C y se hace girar la plataforma a una velocidad de 5 a 6 rpm durante 15 min. Hecho esto, se sacan las charolas del horno y se vierte su contenido en una sola de ellas con ayuda de

una espátula, agitándolo para homogeneizarlo. Hecho lo anterior se procede como se indica en este Manual.

MUESTRA DEL RESIDUO POR DESTILACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA

Inmediatamente después de obtener el residuo por destilación de la emulsión asfáltica mediante el procedimiento de prueba indicado en el Manual *Destilación de Emulsiones Asfálticas*, se destapa el alambique utilizado en esa prueba, se homogeneiza su contenido con la espátula, se toma una muestra de prueba de aproximadamente 20 mL en un contenedor apropiado, vertiendo el residuo a través de la malla N° 50, y se procede como se indica en este Manual.

MUESTRA DEL RESIDUO POR DESTILACIÓN DE UN ASFALTO REBAJADO

Inmediatamente después de obtener el residuo por destilación del asfalto rebajado mediante el procedimiento de prueba indicado en el Manual *Destilación de Asfaltos Rebajados* y tan pronto como deje de vaporizar en la cápsula metálica utilizada en esa prueba, se homogeneiza con la espátula, se toma una muestra de prueba de aproximadamente 20 mL en un contenedor apropiado y se procede como se indica en este Manual.

DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD DINÁMICA

CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

Calibración del viscosímetro de vacío por medio de viscosidad estándar

Se calibrará mediante un aceite de viscosidad estándar cuando en la muestra de prueba se esperen las viscosidades dinámicas aproximadas señaladas en la Tabla 3 de este Manual.

TABLA 3.- Viscosidades estándar de aceites utilizados para la calibración de los viscosímetros

Viscosidad estándar	Viscosidad dinámica aproximada, η Pa.s (P)	
	A 20° C (68° F)	A 38° C (100° F)
N 30 000	150 (1 500)	24 (240)
N 190 000	800 (8000)	160 (1600)
S 30 000	---	24 (240)

Se selecciona de la Tabla 3, un aceite de viscosidad estándar que tenga un tiempo mínimo de flujo de 60 s a la temperatura de calibración.

Se carga un viscosímetro limpio y seco con el aceite estándar hasta ± 2 mm de la línea de llenado E (ver las Figuras 1 y 2 de este Manual).

Se coloca el viscosímetro cargado en el baño, manteniendo la temperatura de calibración con aproximación de $\pm 0,01^\circ \text{C}$ ($\pm 0,02^\circ \text{F}$).

Se establece un vacío de $300 \pm 0,5$ mm de Hg en el sistema de vacío y se conecta éste al viscosímetro con la llave de paso cerrada en la línea que va a este último.

Después de que el viscosímetro ha estado en el baño por 30 ± 5 min, se inicia el flujo del aceite estándar abriendo la llave de paso en la línea que va al sistema de vacío.

Se mide el tiempo requerido para que la orilla principal del menisco, es decir, la parte superior visible del mismo, pase entre las marcas F y G, con aproximación de 0,1 s. Utilizando otro cronómetro, se mide el tiempo requerido para que la orilla principal del menisco pase entre las marcas para cronometraje G y H, con aproximación de 1s. Si el instrumento contiene marcas para cronometraje adicionales, se determina de la misma manera el tiempo de flujo para cada bulbo sucesivo.

Se calcula el factor de calibración K, para cada bulbo como sigue:

$$K = \frac{\eta_e}{t}$$

Donde:

K = Factor de calibración del bulbo (a 300 mm Hg), (Pa)

η_e = Viscosidad dinámica del aceite de viscosidad estándar a la temperatura de calibración, (Pa.s)

t = Tiempo de flujo, (s)

Se repite el procedimiento de calibración utilizando la misma viscosidad estándar u otra viscosidad estándar distinta.

Se calcula y registra el promedio del factor de calibración K para cada bulbo. Los resultados obtenidos en las dos determinaciones no deben variar más del 2% respecto a su promedio, en caso contrario se repetirá el procedimiento hasta que esto se cumpla.

Es importante hacer notar que los factores de calibración del bulbo son independientes de la temperatura.

Calibración del viscosímetro de vacío por medio del viscosímetro de vacío estándar

Se elige cualquier material asfáltico que tenga un tiempo de flujo de al menos 60 s y se selecciona un viscosímetro estándar con factores de calibración de bulbo (K) conocidos

Se monta el viscosímetro estándar junto con el viscosímetro que va a ser calibrado en el mismo baño a 60°C (140°F) y se determinan los tiempos de flujo del material asfáltico en el procedimiento descrito en este Manual.

Se calcula el factor de calibración K para cada bulbo como sigue:

$$K = \frac{K_2 \times t_2}{t_1}$$

Donde:

K_1 = Factor de calibración del bulbo del viscosímetro que se está calibrando, (Pa)

K_2 = Factor de calibración del bulbo del viscosímetro estándar, (Pa)

t_1 = Tiempo de flujo del bulbo del viscosímetro que se está calibrando, (s)

t_2 = Tiempo de flujo del bulbo del viscosímetro estándar, (s)

PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA

El procedimiento de prueba varía ligeramente según el tipo de viscosímetro que se utilice, por lo que, además de lo indicado a continuación, es necesario considerar las características particulares de los viscosímetros señaladas en este Manual.

Se mantiene el baño a $6^\circ \pm 0,01^\circ\text{C}$ ($140 \pm 0,02^\circ\text{F}$), aplicando, en su caso, las correcciones necesarias en todas las lecturas del termómetro.

Se selecciona un viscosímetro limpio y seco, que dé un tiempo de flujo mayor de 60 s. y se precalienta a $135 \pm 5,5^\circ\text{C}$ ($275 \pm 10^\circ\text{F}$).

Se carga el viscosímetro vertiendo la muestra preparada a ± 2 mm. de la línea de llenado E (ver Figuras 1 y 2 de este Manual).

Se coloca el viscosímetro cargado en un horno o un baño, mantenidos a $135 + 5,5^\circ\text{C}$ ($275 \pm 10^\circ\text{F}$) por un período de 10 ± 2 min, para eliminar la mayor parte de las burbujas de aire atrapadas.

Se retira el viscosímetro del horno o del baño y, en un tiempo no mayor de 5 min, se inserta el viscosímetro en un soporte y se coloca verticalmente en el baño, de tal manera que la marca para cronometraje superior, esté al menos 20 mm. por debajo de la superficie del líquido de baño.

Se establece un vacío de $300 \pm 0,5$ mm. Hg en el sistema de vacío y se conecta éste al viscosímetro con la llave de paso cerrada.

Después de que el viscosímetro ha estado en el baño por 30 ± 5 min, se inicia el flujo del material asfáltico abriendo la llave de paso en la línea que va al sistema de vacío.

Se mide el tiempo requerido para que la orilla principal del menisco pase entre dos marcas para cronometraje sucesivas, que es el tiempo de flujo. Se reporta el primer

tiempo de flujo que sea mayor de 60 s entre dos marcas para cronometraje sucesivas, registrando la letra de identificación de estas últimas.

Una vez completada la prueba se deja drenar el viscosímetro para después limpiarlo perfectamente enjuagando varias veces con un solvente apropiado completamente miscible con la muestra, seguido por un solvente totalmente volátil. Posteriormente se seca el viscosímetro pasando por el una corriente lina de aire seco filtrado durante 2 min, o hasta que la última marca de solvente desaparezca

CÁLCULOS Y RESULTADOS

Se selecciona el factor de calibración (K) que corresponda al par de marcas para cronometraje utilizadas para la determinación del tiempo de flujo. Se calcula la viscosidad mediante la siguiente ecuación:

$$\eta_e = K \times t$$

Donde:

η =Viscosidad dinámica, (Pa.s)

K = Factor de calibración seleccionado, (Pa)

t =Tiempo de flujo, (s)

La viscosidad dinámica se reportará con una aproximación al milésimo, anotando además, la temperatura de prueba y la presión de vacío utilizada.

PRECAUCIONES PARA EVITAR ERRORES

Para evitar errores durante la ejecución de la prueba, se observan las siguientes precauciones:

Sumergir los termómetros de tal forma que sólo la columna de mercurio este cubierta por el agua y el resto del tallo y la cámara de expansión estén expuestos a la temperatura del laboratorio y a la presión ambiental, ya que en caso contrario podrían obtenerse mediciones inexactas y tendrían que hacerse correcciones.

Verificar que el viscosímetro esté calibrado de acuerdo con lo establecido en este Manual.

Limpiar periódicamente el viscosímetro con una solución limpiadora de ácido crómico para remover depósitos orgánicos, enjuagándolo completamente con agua destilada y acetona, y secándolo con aire seco y limpio. Se puede preparar solución limpiadora de ácido crómico, adicionando con las precauciones normales, 800 mL de ácido sulfúrico concentrado a una solución de 92 g de dicromato de sodio en 458 ml. de agua. Es aceptable el uso de soluciones limpiadoras de ácido sulfúrico comercial similar. El uso de soluciones limpiadoras alcalinas puede producir un cambio en la calibración del viscosímetro, por lo que no son recomendables.

Cuidar que la variación de temperatura en la muestra durante las calibraciones y las pruebas, esté dentro de la tolerancia indicada.

DEFINICIONES

Actuación preventiva: Conjunto de operaciones que se realizan para prolongar la vida útil de un pavimento que no presenta aún debilitamiento estructural.

Debilitamiento estructural: Estado de un pavimento que presenta una degradación estructural generalizada.

Acotamiento (Arcén): se define como la franja longitudinal contigua a la calzada, dotada de base, pero no destinada al uso de vehículos automóviles más que en circunstancias excepcionales.

Auscultación de una base: Reconocimiento de las características estructurales o superficiales de una base mediante equipos específicos de medida.

Bacheo: Operación específica de conservación cuyo objeto es la eliminación de un bache.

Calzada: Parte de la carretera destinada a la circulación de vehículos. Se compone de uno o de varios carriles.

Capa de base: Capa del pavimento situada debajo de la capa de rodamiento cuya misión es eminentemente estructural.

Capa de rodamiento o rodadura: Capa superior o única de un pavimento de mezcla asfáltica.

Capa intermedia: Capa de un pavimento de mezcla asfáltica situada debajo de la capa de rodadura.

Carril: Franja longitudinal en que puede estar dividida la calzada, delimitada o no por marcas viales longitudinales, y con anchura suficiente para la circulación de una fila de automóviles que no sean motocicletas.

Carril de proyecto: Carril por el que en una calzada circula el mayor número de vehículos pesados.

Categorías de tráfico pesado: Intervalos que se establecen, para efectos del dimensionamiento de la sección estructural del pavimento, para la intensidad media diaria de vehículos pesados.

Corrección de trazo: Modificación localizada del trazo de una vía consistente, por ejemplo, en el aumento del radio de una curva, en el cambio de la pendiente transversal, en el cambio de la pendiente longitudinal, etc.

Deflexión característica: Valor de la deflexión que corresponde a la media de las deflexiones más dos veces el valor de la desviación típica muestral de las deflexiones en un tramo homogéneo de comportamiento uniforme.

Deflexión de cálculo: Deflexión característica de un tramo homogéneo corregida por humedad y temperatura.

Deflexión patrón: Recuperación elástica de la superficie de un pavimento, al tomarse su medida mediante la viga Benkelman, siguiendo el método de recuperación y en las condiciones indicadas en la norma.

Deterioro: Alteración producida en la superficie de un pavimento, detectable visualmente y producida por un defecto de construcción o por la acción del tránsito, del agua o de las acciones climáticas.

Diagnóstico: Identificación de las posibles causas de un deterioro.

Estudio especial: El que ha de llevarse a cabo cuando se miden deflexiones anormalmente elevadas para el tipo de pavimento que se está analizando y para la categoría de tránsito pesado que le corresponde.

Desmante: Parte de la explanación situada bajo el terreno original.

Firme: Conjunto de capas ejecutadas con materiales seleccionados, y, generalmente, tratados, que constituye la superestructura de la plataforma, resiste las cargas del tráfico y permite que la circulación tenga lugar con seguridad y comodidad.

Pavimento flexible: Pavimento constituido por capas granulares no tratadas y por una carpeta asfáltica de espesor inferior a 15 cm (puede ser un tratamiento superficial).

Pavimento semiflexible: Pavimento constituido por carpetas asfálticas sobre capas granulares tratadas con productos asfálticos.

Pavimento semirrígido: Pavimento constituido por un pavimento asfáltico de cualquier espesor sobre una o más capas tratadas con cemento Pórtland, con espesor conjunto de éstas igual o superior a 18 cm y cuyo comportamiento garantice todavía una contribución significativa a la resistencia estructural.

Fresado: Levantamiento de los materiales del pavimento a temperatura ambiente y en una cierta profundidad, mediante un equipo autopropulsado que dispone de un rotor provisto de elementos punzantes, cuya misión es disgregar el material existente.

Gravacemento: Mezcla homogénea de materiales pétreos, cemento, agua y excepcionalmente aditivos, realizada en planta, que convenientemente compactada se utiliza como capa estructural en pavimentos de carreteras.

Grieta (fisura): Discontinuidad o línea de rotura en la superficie de un pavimento.

Grieta de origen estructural: La que aparece como consecuencia del agotamiento estructural de alguna de las capas del firme.

Grieta de origen no estructural: La producida por una causa diferente del agotamiento estructural de alguna de las capas del pavimento, retracción hidráulica o térmica, fluencia, etc.

Concreto magro vibrado: Mezcla homogénea de agregados pétreos, cemento, agua y aditivos, empleada en capas de base bajo pavimentos de concreto hidráulico, que se coloca en obra con una consistencia tal que requiere el empleo de vibradores internos para su compactación.

Inspección visual: Reconocimiento de la superficie de la carretera destinado a identificar los posibles deterioros del pavimento y los elementos del entorno que puedan influir en su estado.

Junta: Discontinuidad prevista, por razones estructurales o constructivas, entre dos zonas contiguas de una capa de pavimento.

Lechada asfáltica: Mezcla fabricada a temperatura ambiente, con una emulsión asfáltica, material pétreo, agua y aditivos, cuya consistencia es adecuada para su puesta en obra y puede aplicarse en una o varias capas.

Ley de fatiga: Expresión matemática que permite estimar el número de aplicaciones de carga que un material puede soportar hasta su falla o fatiga, en función de un determinado parámetro característico de su comportamiento estructural.

Mezcla asfáltica de textura abierta, elaborada en frío: Combinación de una emulsión asfáltica, materiales pétreos con unos contenidos de finos muy reducidos y aditivos, de manera que todas las partículas del pétreo queden recubiertas de una película de asfalto. Su proceso de fabricación no implica calentar el asfalto ni los pétreos, y su puesta en obra se realiza a temperatura ambiente.

Mezcla asfáltica de alto módulo: Mezcla asfáltica elaborada en caliente en la que el valor del módulo dinámico a veinte grados Celsius (20°C), es superior a once mil megapascales (11.000 MPa).

Mezcla asfáltica elaborada en caliente: Combinación de un cemento asfáltico, materiales pétreos (incluido el polvo mineral) y aditivos, de manera que todas las partículas de material pétreo queden recubiertas de una película de asfalto. Su proceso de fabricación implica calentar el asfalto y los pétreos, y su puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior a la ambiente.

Mezcla asfáltica discontinua en caliente: Mezcla asfáltica elaborada en caliente para capas de rodadura cuyos materiales pétreos presentan una discontinuidad granulométrica muy acentuada en las mallas inferiores del agregado grueso.

Microfresado: Técnica de fresado que afecta a una profundidad muy reducida, con el objeto de mejorar significativamente la textura superficial del pavimento o colaborar en la regularización de la superficie a rehabilitar. A esta técnica especializada se la denomina también cepillado.

Módulo de elasticidad: En un material de comportamiento esencialmente elástico es el cociente entre la tensión aplicada en un ensayo uniaxial y la deformación unitaria producida en el mismo eje.

Pavimento: Parte superior de una estructura vial, que debe resistir los esfuerzos producidos por la circulación de vehículos, proporcionando a ésta una superficie de rodadura cómoda y segura.

Pavimento de concreto hidráulico: Pavimento constituido por losas de concreto hidráulico, separadas por juntas, o por una losa continua de concreto armado; el concreto se pone en obra con una consistencia tal que requiere el empleo de vibradores internos para su compactación y maquinaria específica para su extensión y acabado superficial.

Período de servicio: Período de tiempo considerado para el proyecto y dimensionamiento de la rehabilitación estructural de un pavimento.

Reciclado en planta: Técnica de reciclado en la que los materiales levantados se llevan a una planta de fabricación para mezclarlos, en caliente, con una cierta proporción de materiales de aportación.

Reciclado in situ: Técnica de reciclado en la que los materiales levantados para su aprovechamiento no se trasladan fuera de la carretera.

Reciclado: Rehabilitación de un pavimento consistente en el levantamiento, normalmente por fresado, de los materiales que han estado en servicio, su mezcla con materiales de aportación y su aplicación en el mismo lugar o en otro diferente.

Reconstrucción parcial del pavimento: Eliminación parcial y reposición del pavimento existente que no afecta a la totalidad del espesor.

Reconstrucción total del pavimento: Sustitución completa del pavimento existente por otro de construcción nueva, en la totalidad de un tramo o zona de la carretera.

Recrecimiento: Colocación de una o varias capas sobre un firme existente para aumentar su capacidad estructural, adecuándola a las condiciones previsibles de tráfico durante su vida útil.

Regularización superficial: Actuación localizada o generalizada destinada a eliminar en todo o en parte las irregularidades de un pavimento.

Rehabilitación estructural: Aumento de la capacidad estructural del pavimento existente, adecuándola a las condiciones previsibles de tráfico durante su vida útil.

Rehabilitación superficial: Restauración o mejora de las características superficiales de un pavimento. A diferencia de la rehabilitación estructural, no tiene por objeto aumentar la capacidad resistente del firme, aun cuando en determinados casos pueda mejorarla.

Reposición del pavimento: Eliminación en una zona de la capa o capas deterioradas del pavimento hasta la profundidad necesaria, sustituyéndolas por otra u otras de materiales adecuados, que pueden no ser los del pavimento existente.

Riego de liga: Aplicación de una emulsión asfáltica sobre una capa tratada con productos asfálticos o con conglomerantes hidráulicos, previa a la colocación sobre ésta de una mezcla asfáltica.

Riego de curado: Aplicación de una película continua y uniforme de emulsión asfáltica sobre una capa tratada con un conglomerante hidráulico, con objeto de impedir la evaporación prematura de humedad.

Riego de impregnación: Aplicación de un producto asfáltico sobre una capa granular, previa a la colocación sobre ésta de una capa asfáltica.

Sellado de grietas: Actuación de conservación localizada en las grietas para impedir el paso del agua a través de ellas y limitar en la medida de lo posible los movimientos de sus bordes.

Suelo cemento: Mezcla homogénea de materiales granulares (base, suelo granular o productos inertes de desecho), cemento, agua y eventualmente aditivos, realizada en planta, que convenientemente compactada se utiliza como capa estructural en bases de carretera.

Terraplén: Parte de la estructura situada sobre el terreno original.

Tramificación: Estudio de una carretera destinado a establecer en ella tramos homogéneos de cara a una eventual rehabilitación del pavimento.

Tramo homogéneo de comportamiento uniforme: Tramo homogéneo en su origen, cuyo pavimento se encuentra en un mismo estado superficial o estructural, según una inspección visual y una auscultación con equipos.

Tramo homogéneo: Segmento de carretera que tiene idéntica sección estructural del pavimento (naturaleza y espesor de las capas), realizada en el mismo o los mismos años, y sobre el que circula un tráfico pesado de la misma categoría.

Tratamiento superficial: Técnica de pavimentación cuyo objetivo es dotar al pavimento de unas ciertas características superficiales, sin aumento directo y apreciable de la capacidad resistente ni tampoco, en general, de la regularidad superficial.

Umbral: Valor a partir del cual deben considerarse los efectos de una determinada característica.

Vehículo pesado: Se incluyen con esta denominación los camiones de carga útil superior a 3 t, de más de 4 ruedas y sin remolque; los camiones con uno o varios remolques; los vehículos articulados y los vehículos especiales; y los vehículos dedicados al transporte de personas con más de 9 plazas.

Vía de servicio: Camino sensiblemente paralelo a una carretera, respecto de la cual tiene carácter secundario, conectado a ésta solamente en algunos puntos, y que sirve a las propiedades o edificios contiguos. Puede ser con sentido único o doble sentido de circulación.

Vida residual: Período de tiempo que le queda de vida útil a un pavimento o a alguna de sus capas.

Vida útil: Período de tiempo en el que el pavimento (o la capa considerada) no presenta una degradación estructural generalizada.

Base: Material granular, de granulometría continua, utilizado como capa de pavimento. Constituida por partículas total o parcialmente trituradas.

Zona singular: Zona en la que el comportamiento y estado del firme es sensiblemente diferente que el del resto del tramo homogéneo en que se encuentra situada.



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA

CURSOS INSTITUCIONALES

ASFALTO URBANO

Del 26 de Junio al 26 de Julio de 2007

APUNTES GENERALES **-Complemento-**

CI - 087

Instructor: Ing. Julián Bravo Martínez
DELEGACIÓN XOCHIMILCO
Junio/Julio de 2007

DISEÑO Y CONTROL DE MEZCLAS Y TRATAMIENTOS ASFÁLTICOS

1.- DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Para diseñar mezclas asfálticas se debe establecer en forma preliminar la dosificación, tanto de los materiales pétreos como de los productos asfálticos que se pretendan utilizar y verificar si la mezcla cumple con los requisitos establecidos y de no ser así, efectuar oportunamente los ajustes necesarios.

Para estimar las proporciones en que deben mezclarse dos o más materiales pétreos diferentes, se partirá de las características granulométricas de cada material y se aplicarán criterios como los de aproximaciones sucesivas, métodos numéricos o métodos gráficos:

MÉTODO DE FÓRMULAS EMPÍRICAS PARA DETERMINAR EL CONTENIDO APROXIMADO DE ASFALTO PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS.

La cantidad de asfalto para aglutinar el material pétreo se establece en función de alguna o algunas de las características físicas del agregado, tales como: granulometría, porosidad, forma y superficie específica de las partículas, así como del tipo de mezcla que se pretenda elaborar y su uso.

Algunos de estos conceptos se toman en cuenta para cuando mediante fórmulas empíricas se obtiene en forma aproximada el por ciento de producto asfáltico para una mezcla preliminar, de tal manera que cubra las partículas de material pétreo, sin dejarles una película demasiado gruesa, porque se afectaría la estabilidad, ni demasiado delgada porque se desintegraría prematuramente o no se aglutinarían los materiales.

Para determinar la cantidad de asfalto para una mezcla se deben tomar en cuenta diversos factores. En primer lugar, se considera la función que desarrollará la mezcla asfáltica, el clima y severidad de trabajo a que está sujeta; después, se consideran las características de los materiales (granulometría, densidad, absorción del pétreo, así como la densidad y consistencia del asfalto); finalmente se consideran otros factores relacionados con la estructura por construir, referentes a la flexibilidad de las capas subyacentes y al espesor de la capa asfáltica, que deben ser congruentes con las propiedades de la mezcla por elaborar.

MÉTODOS PARA DISEÑO Y VERIFICACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.

El diseño de las mezclas asfálticas tiene por objeto establecer las proporciones de los materiales que en su elaboración intervienen, con el fin de lograr en ellas las propiedades que propicien condiciones de uso y duración suficientes para el objetivo que se pretenda.

La prueba de equivalente de queroseno centrifugado (CKE) se emplea para la determinación de la proporción aproximada de material asfáltico en una mezcla, y se lleva a cabo a partir del área superficial de las fracciones gruesa y fina del material pétreo o combinación de materiales seleccionados para la mezcla; así como de la obtención de un factor "K" que depende de la rugosidad y grado de porosidad de las partículas de material pétreo, evaluados mediante procedimientos de retención de queroseno y de aceite. Dichos parámetros se correlacionan gráficamente para determinar la proporción aproximada de un asfalto rebajado con viscosidad especificada, ajustándose después para otros materiales asfálticos.

MÉTODO DE DISEÑO MARSHALL

En una mezcla asfáltica, el asfalto y los agregados se combinan en proporciones exactas, la proporción relativa de estos materiales determina las propiedades físicas de la mezcla y eventualmente, su comportamiento como pavimento en servicio.

En el procedimiento se considera la elaboración de especímenes de prueba, preparados con diferentes contenidos de material pétreo y de producto asfáltico, que cumplan con los requisitos de calidad. Previamente se determina un contenido aproximado de asfalto mediante fórmulas empíricas o cualquier método adecuado.

Se determina el peso específico relativo aparente del material pétreo por inmersión en cemento asfáltico, y se determina el peso específico relativo del residuo asfáltico.

La preparación de las mezclas se efectúa con la cantidad necesaria de material pétreo para que el espécimen tenga una altura aproximada de 63,5 mm de altura (Aproximadamente 1 100g). Se preparan mezclas para elaborar especímenes por triplicado para cada contenido de asfalto. La compactación de los especímenes se realiza aplicando 50 golpes o bien 75 golpes por cara, dependiendo del tipo de tránsito considerado en el proyecto.

Los moldes con los especímenes sin la placa de base se dejan a temperatura ambiente hasta que adquieran la consistencia adecuada para extraerlos sin dañarlos; después de extraerlos se mantienen en reposo a la temperatura ambiente durante 24 horas antes de ser probados. Se determina el diámetro y altura promedios y peso volumétrico de cada uno de los especímenes (pesándolos en aire y en agua).

Se sumergen en agua todos los especímenes a $60^{\circ} \pm 1^{\circ}$ C durante un lapso de 30 a 40 minutos, para el caso de mezclas elaboradas con emulsión asfáltica, los especímenes se mantienen a $25^{\circ} \pm 1^{\circ}$ C durante 2 horas. La determinación de la estabilidad y flujo se inicia a los 30 minutos de inmersión y se debe probar el último a los 42 minutos de haber sido introducido en el baño

El ensaye de los especímenes se realiza aplicando carga a una velocidad de deformación de 50,8 mm/minuto, hasta la falla, que es el valor de la estabilidad Marshall. Al presentarse la carga máxima se toma la medida del flujo en mm.

- Se determina el peso específico de cada una de las mezclas asfálticas
- Se calcula el porcentaje de vacíos del material pétreo VAM.
- Se calcula el porcentaje de vacíos de la mezcla compactada.
- Se corrigen los valores de estabilidad de los especímenes que hayan resultado de altura diferente a 63,5 mm
- Se determina el peso específico de cada una de las mezclas asfálticas
- Se calcula el porcentaje de vacíos del material pétreo VAM.
- Se calcula el porcentaje de vacíos de la mezcla compactada.
- Se corrigen los valores de estabilidad de los especímenes que hayan resultado de altura diferente a 63,5 mm

El Instituto del Asfalto recomienda que se determine el contenido de asfalto para el cual, el contenido de vacíos en la mezcla sea de 4 %. Luego, se evalúan todas las demás propiedades para este contenido de asfalto.

MÉTODO DE COMPRESIÓN SIN CONFINAR Y DIAMETRAL

Este método considera la elaboración de especímenes de prueba mediante mezclas probadas a la compresión sin confinar y diametral, preparadas con diferentes contenidos de material pétreo y de producto asfáltico que cumplan con los requisitos de calidad.

Los especímenes se compactan con carga estática, dándoles previamente un acomodo para disminuir la influencia de la forma de las partículas del material pétreo.

Un grupo de especímenes se somete a la acción de cargas axiales y otro a la de cargas diametrales, hasta alcanzar la falla, haciendo en ambos casos determinaciones tanto en especímenes en seco como saturados.

Con los datos obtenidos referentes a: pesos específicos, resistencia a la compresión axial, deformación final, resistencia a la compresión diametral y en algunos casos por ciento de vacíos, se define gráficamente la proporción óptima de asfalto, que será aquella con la cual se logre la mejor combinación de las características.

El procedimiento no se aplica a mezclas con menos del 10 % de partículas de material pétreo pasando la malla núm. 10 (2,0 mm) consideradas como de textura abierta, ni a las que se elaboran con cemento asfáltico. Su aplicación también se limita al caso de mezclas conteniendo más del 12 % de partículas que se retienen en la malla núm. 25,0 (1") y pasan la núm. 37,5 (1,5").

Se determina el peso específico relativo aparente del material pétreo por inmersión en cemento asfáltico y se determina el peso específico relativo del residuo asfáltico.

Se determina el peso del material pétreo que pasa la malla núm 25,0 (1") necesario para elaborar cada una de las 8 mezclas de prueba, que se preparan para cada contenido de asfalto, para lo cual se toma el peso volumétrico de una mezcla preliminar.

Los especímenes se elaboran con una relación altura - diámetro de 1,25. Previamente se determina un contenido aproximado de asfalto mediante fórmulas empíricas. La proporción de asfalto de cada uno de los contenidos que se estudiarán, son: El contenido óptimo teórico -1,0 %, -0,5 %, óptimo teórico, +0,5 %, +1,0 %, +1,5 %, +2,0 %

Se elaboran las mezclas y se permite su curado, con emulsiones asfálticas se efectuará remezclándolas hasta que se inicie el rompimiento, el cual se manifiesta por el escurrimiento del agua remanente, siendo esta etapa en la que debe compactarse la mezcla. Seleccionando la humedad y estado de rompimiento que proporcionen los mayores pesos volumétricos.

Curada la mezcla se coloca en el molde en dos capas, dándole a cada una un acomodo mediante 20 penetraciones con la varilla, distribuidas de manera uniforme. El espécimen se forma compactando mediante una carga inicial de 25 kg/cm²

A continuación, se aplica la carga de compactación en forma lenta y uniforme, hasta alcanzar en 5 Minutos 100 kg./cm², que se sostiene durante 2 minutos, después de lo cual se libera y el espécimen se Retira de la máquina de compresión.

Los moldes con los especímenes sin la placa de base se dejan a temperatura ambiente hasta que los especímenes adquieran la consistencia para extraerlos sin dañarlos; con emulsiones asfálticas serán 3 días, en posición horizontal para facilitar el drenado.

Se determina el diámetro y altura promedios con aproximación de 1 mm y se verifica la relación altura - diámetro (1,25)

Los especímenes no tendrán entre sí diferencias mayores de 5 mm.

Dos especímenes del primer grupo se prueban a la compresión simple aplicando la carga a una velocidad uniforme para tener una deformación vertical de 50.0mm. hasta la máxima carga que resistan y midiendo el flujo en mm.

Los otros dos especímenes del primer grupo se someten a la prueba brasileña o de compresión diametral con registro de flujo vertical.

Dos especímenes del segundo, después de los 4 días de inmersión en agua dejan escurrir durante no más de 5 minutos y se prueban a la compresión simple con medición del flujo vertical.

Los otros dos especímenes del segundo grupo se someten a la prueba brasileña o de compresión diametral, también con registro de flujo vertical.

Se promedian los pesos volumétricos de todos los especímenes de un mismo contenido de asfalto.

Se calcula la resistencia a la compresión simple: $r = p/a$, y se reporta el promedio de cada contenido de asfalto, tanto de los probados en seco como en húmedo.

Se calcula el valor convencional de resistencia a la tensión por compresión diametral: $r = p/dh$, y se reporta el promedio de cada contenido de asfalto, tanto de los probados en seco como en húmedo.

Se calcula el porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica de todos especímenes de cada contenido de asfalto.

Con los datos de peso volumétrico, de resistencia, de flujo y porcentaje de vacíos obtenidos y los contenidos de asfalto expresados como por ciento en peso, con relación al del material pétreo de los especímenes respectivos, se dibujan mediante un sistema de ejes coordenados las gráficas.

Del análisis de las gráficas se deduce la proporción óptima de asfalto que permita el mayor peso volumétrico, las mayores resistencias y el flujo. aceptable, siendo el por ciento de asfalto recomendado, aquel con el que se logren las mayores ventajas de las propiedades evaluadas.

2.- ELABORACIÓN, CONTROL Y COLOCACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DOSIFICACIÓN Y PARÁMETROS DE CONTROL

Las plantas de dosificación por batch secan y calientan el agregado y después, en un mezclador separado, lo combinan con el asfalto en dosis individuales; mientras que las plantas mezcladoras continuas, de tambor secan el agregado y lo combinan con el asfalto en un proceso continuo y en la misma sección. Los materiales deben ser suministrados y manejados de tal manera que se evite la contaminación y minimice la degradación y segregación. Se deben tomar medidas que prevengan que los diferentes agregados, se entremezclen.

PROPOSITO Y DISPOSICION DE LOS EQUIPOS

El propósito es el mismo sin importar el tipo de planta. El propósito es de producir una mezcla en caliente que posea las proporciones deseadas de asfalto y agregado, y que cumpla con todas las especificaciones. Ambos tipos de planta (plantas de dosificación y plantas mezcladoras de tambor) están diseñados para lograr este propósito. La diferencia entre los dos tipos de planta es que las plantas de dosificación secan y calientan el

agregado y después, en un mezclador separado, lo combinan con el asfalto en dosis individuales; mientras que las plantas mezcladoras de tambor secan el agregado y lo combinan con el asfalto en un proceso continuo y en la misma sección del equipo.

MATERIALES

La calidad de la mezcla en caliente producida es tan buena como la calidad de los materiales usados en la planta. Por lo tanto, una de las obligaciones primordiales es la de garantizar la disponibilidad de una adecuada reserva de materiales apropiados antes de y durante las operaciones de la planta.

ALMACENAMIENTO Y MANEJO DE AGREGADOS

La manera como los agregados deben ser manejados durante el acopio depende de la naturaleza misma del material. Los agregados finamente graduados (tales como arenas y materiales finos) y los de un solo tamaño no requieren el mismo cuidado en su manejo que los agregados gruesos compuestos de varios tamaños de partícula. Las arenas, el agregado triturado fino, y los agregados de un solo tamaño especialmente los tamaños pequeños) pueden ser manejados y almacenados casi de cualquier manera. Las combinaciones de agregados, sin embargo, requieren de un manejo especial.

Si los agregados son transportados en camión, se puede construir una pila en capas vaciando las camionadas, una cerca de otra, sobre la superficie total del montón. El tamaño de las camionadas determinará el espesor de cada capa. Cuando el apilamiento se hace con grúa, las cargas deberán depositarse (sin ser arrojadas) una cerca de otra para formar capas de espesor uniforme. Cada capa deberá ser terminada antes de comenzar a apilar la capa siguiente.

APILAMIENTO CON TOPADORA (BULDÓZER).

Si se usa una topadora para construir la pila, la topadora tendrá que depositar el agregado de tal forma que la pila crezca en capas uniformes. Cada capa no deberá tener un espesor de más de 1.20 metros. La manipulación de agregados con topadora deberá ser mínima, debido a que cualquier movimiento del agregado puede causar segregación y degradación. Si se permite el uso de topadoras en el manejo de pilas de agregado, estas no deberán trabajar continuamente sobre el mismo nivel. Si esto llegara a ocurrir, el material fino, producido por la acción moledora de la banda de rodamiento, encontrará el camino hacia la parte baja de la rampa que esta siendo usada por la topadora. Por lo tanto, el material tendrá que volver a ser tamizado antes de ser usado en la mezcla. De otra manera, el material deberá ser desechado. Este problema no está únicamente limitado al uso de topadoras y otros vehículos de tracción; también ocurre cuando se usan equipos con neumáticos.

SEGREGACIÓN CAUSADA POR LA TOPADORA.

Para garantizar que la pila mantenga una graduación uniforme se deben tomar muestras del agregado, y ensayarlas con frecuencia. Cada muestra de la pila debe ser un compuesto de agregados tomados de diferentes niveles de la pila - cerca a la cima, en la mitad, y cerca de la base.

Asegúrese de obtener una palada de agregado, en el área de muestreo, de cada nivel de la pila. Es importante que las áreas de muestreo no estén en línea vertical. Estas deberán estar más bien escalonadas alrededor, o dentro, de la pila, para garantizar muestras representativas.

MUESTREO DEL AGREGADO

Recuérdese que las muestras mas representativas son tomadas de la banda de alimentación y no de la pila o la tolva. El muestreo estadístico esta en la norma ASTM D 3665, Método Normalizado para Muestreo Aleatorio, describe procedimientos para dicho muestreo.

Las muestras para los ensayos deben obtenerse de la muestra de campo mediante un cuarteo, o mediante cualquier otro medio que garantice una porción representativa.

El muestreo estadístico esta fuera del alcance de este documento. Si llegara a ser necesario, la norma ASTM D 3665, Método Normalizado para Muestreo Aleatorio, describe procedimientos para dicho muestreo.

TAMAÑO DE MUESTRAS.

Tamaño Máximo Nominal de Partículas, (Porcentaje que pasa)			Peso mínimo de muestras de campo*	
mm		Agregado Fino	lb	kg
2.36	No. 8	-----	10	5
4.75	No. 4	-----	10	5
Agregado Grueso				
9.5	3/8 In	-----	10	5
12.5	1/2 In	-----	20	10
19.0	3/4 In	-----	30	15
25.0	1 In	-----	50	25
37.5	1-1/2 In	-----	70	30
50.0	2 In	-----	90	40
63	2-1/2 In	-----	100	45
75	3 In	-----	125	60
90	3-1/2 In	-----	150	65

- Las muestras para los ensayos deben obtenerse de la muestra de campo mediante un cuarteo o mediante cualquier otro medio que garantice una porción representativa.

ALMACENAMIENTO Y MANEJO DE LOS AGREGADOS

El manejo de los agregados depende de su naturaleza, las arenas y materiales finos y los de un solo tamaño no requieren el mismo cuidado que los agregados gruesos compuestos de varios tamaños de partícula

Existen varios tipos de alimentadores, entre los más comunes se encuentran:

- A.- Tipo continuo de banda
- B.- Tipo vibratorio
- C.- Tipo mandril (alimentador de aspas)

En general, los alimentadores continuos de banda se consideran los mejores para agregados finos, cualquiera de los tres son adecuados para manejar agregados gruesos.

La calibración empieza abriendo una compuerta un 25% o menos de su máxima abertura y poniendo en marcha el alimentador. Se recoge y pesa todo el agregado que sale en un intervalo de tiempo. Si la compuerta que se calibra descarga directamente sobre la banda, se debe determinar el flujo por minuto.

ALMACENAMIENTO Y MANEJO DEL ASFALTO

Las cantidades de asfalto almacenadas en la planta deben ser suficientes para permitir una operación uniforme en la misma, aún si se tienen en cuenta los cargamentos retrasados y el tiempo de los ensayos de aceptación. La mayoría de las plantas tienen al menos dos tanques de asfalto, un tanque de trabajo y uno de reserva. Cuando se requiere más de un grado de asfalto para una obra, es necesario disponer de un tanque para cada grado.

Los tanques de almacenamiento de asfalto deberán ser calibrados para que la cantidad remanente de material en el tanque pueda ser determinada en cualquier momento. También deberán ser calentados para mantener el asfalto lo suficiente fluido para que pueda moverse por las líneas de carga, y descarga. El calentamiento se hace eléctricamente o circulando aceite caliente a través de serpentinas en el tanque. Independientemente del método usado, nunca una llama de fuego deberá entrar en contacto directo con el tanque.

Todas las líneas de transferencia, bombas y cubetas pesadoras deben tener calentadores de serpentín o chaquetas para que el asfalto siempre permanezca con suficiente fluidez para ser bombeado. Uno o más termómetros deberán colocarse en el sistema de alimentación de asfalto para garantizar el control de la temperatura del asfalto.

Se puede instalar una válvula o espiga en el sistema de circulación para permitir muestreo de asfalto. Cuando se este muestreando en el sistema de circulación, se deberá tener mucha precaución, puesto que la presión en las líneas puede causar salpicaduras de asfalto caliente.

Muestreo de Asfalto

Normalmente las muestras de asfalto se toman de una válvula de muestreo en un tanque de camión o de almacenamiento. A continuación se presentan unas reglas importantes que deben seguirse durante el muestreo de asfalto:

- Tome las muestras en las válvulas de muestreo diseñadas para este propósito, para garantizar que las muestras sean representativas de todo el cargamento. Las muestras de inmersión tomadas de la parte alta del tanque no son generalmente representativas.
- Use solamente recipientes nuevos, limpios, y secos.
- Permita que por lo menos un litro de asfalto drene de la válvula antes de tomar la muestra. Esto limpia la válvula y las líneas y ayuda a proporcionar una muestra representativa.
- Selle inmediatamente los recipientes llenos con tapas limpias, secas, y de ajuste apretado. Limpie cualquier material que se haya derramado sobre el recipiente usando un trapo limpio y seco. NUNCA use un trapo empapado o sumergido en solvente.
- Marque todos los recipientes claramente. No marque las tapas, porque una vez la tapa sea removida será imposible identificar la muestra en el recipiente. Para marcar use un marcador indeleble. Solamente use rótulos cuando no hay peligro de que se pierdan durante el transporte de las muestras.
- Siga todas las precauciones de seguridad necesarias para manejar y almacenar asfalto caliente. Recuerde que el cemento asfáltico está muy caliente cuando es muestreado. Por esta razón, use ropa de protección (guantes, careta, camisa de manga larga) para evitar quemaduras.

Manejo y Alimentación del Relleno Mineral

Almacenamiento y Manejo - El relleno mineral está sujeto a aglutinamiento o endurecimiento a causa de la humedad. Por lo tanto, es necesario un almacenaje separado para proteger al relleno de la humedad. En operaciones de planta donde el uso de finos es grande, se usa frecuentemente un sistema de silo para almacenaje de finos para mantener una reserva de varios días. Dicho sistema puede tener un dispositivo mecánico, o uno neumático, para alimentar la planta con relleno mineral.

En las plantas donde el volumen de asfalto usado no justifica un silo, podrá usarse un sistema alimentador de sacos. Este sistema consiste de un alimentador, un elevador hermético al polvo, una tolva, un transportador de tomillo sin fin o un alimentador de paletas, y un conducto de rebose.

El manejo de relleno mineral también incluye un sistema colector de polvo. Los colectores de polvo están diseñados para atrapar el relleno mineral que se escapa de la mezcla de agregado y luego devolverlo a la planta para ser incorporado en la mezcla en caliente.

Control de Alimentación - Cuando el relleno mineral es adicionado a la mezcla su proporción debe ser exacta. En consecuencia, el flujo de relleno mineral hacia la planta debe ser cuidadosamente controlado y revisado con frecuencia.

LA REGULACIÓN DE PROTECCIÓN AMBIENTAL RESTRINGE EL ESCAPE DE CONTAMINANTES EN LAS PLANTAS.

La unidad de combustión es de gran interés, los quemadores sucios y taponados y las mezclas inapropiadas de aire – combustible, generan humo y productos indeseables de combustión por lo que se deben revisar continuamente.

Las emisiones más grandes de polvo ocurren en el secador rotatorio de la planta comúnmente se usan 3 tipos de colectores centrifugas de polvo.

- A) Colectores centrifugas de polvo
- B) Los depuradores húmedos
- C) Los compartimentos de filtros

Registros de los Materiales

Todos los materiales que van a ser usados en la mezcla deberán ser muestreados, ensayados y evaluados para verificar su conformidad con las especificaciones de calidad de la obra.

Agregados - A medida que los agregados son recibidos en la planta, se deberá registrar una descripción de los mismos, anotando la fecha y la cantidad entregada, y si el material ha sido o no ensayado antes de la entrega.

Si el material no ha sido ensayado antes de ser entregado, se deberán obtener muestras aleatorias y efectuar los ensayos requeridos para garantizar conformidad con todas las especificaciones. Como mínimo se deben efectuar ensayos para determinar tamaño y graduación (análisis granulométrico), limpieza (análisis granulométrico por lavado), y equivalente de arena. Frecuentemente se toman muestras para medir absorción, masa específica, tenacidad (sanidad), y tendencia al desprendimiento (afinidad con el asfalto).

Asfalto - En la mayoría de los casos el asfalto viene de una fuente ya ensayada y es aceptado por certificación. Aun así, es necesario mantener un registro de todas las entregas de asfalto a la planta.

Otros Materiales - Registros similares deberán ser mantenidos para todo material que va a ser incorporado en la mezcla.

ALMACENAMIENTO

- Los silos o depósitos pueden almacenar mezcla en caliente hasta por 12 horas sin grandes pérdidas de calor o de calidad.
- Las capacidades fluctúan tanto como varios cientos de toneladas
- Las estructuras pequeñas solamente pueden almacenar mezclas durante un corto tiempo
- Humo azul indica fuertemente un sobre calentamiento.
- Si la temperatura es baja, la mezcla puede aparecer inactiva y presentar una distribución no uniforme de asfalto.
- Un pico muy alto en el camión puede indicar falta de calentamiento o bien que el contenido de asfalto es bajo.
- Si la mezcla se asienta, puede ser que tenga demasiado asfalto o demasiada humedad.

Aunque las inspecciones visuales son importantes, no son suficientes y deben hacerse mediciones. La medición más común es la de temperatura de la mezcla.

3.- CONTROL DE TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

El término "Tratamientos Superficiales" comprende de manera general diversos tipos de aplicaciones del asfalto y del asfalto-pétreo, sobre cualquier clase de superficie vial que tenga un espesor menor a una pulgada (2.54 cm)

Los tratamientos superficiales sellan y prolongan la vida de las superficies viales, sin embargo, no se consideran parte estructural del pavimento debido a que añaden poca capacidad de soporte. Normalmente no se toman en cuenta al calcular la carga límite de un pavimento y pueden clasificarse de la siguiente manera:

Con agregado pétreo:

- Riego de gravilla
- Mortero asfáltico (Slurry Seal)
- Riego de sello o sello de arena.

Sin agregado pétreo:

- Riego de impregnación
- Riego antipolvo
- Riego de curado.
- Riego de liga.
- Riego negro

Uso de los Tratamientos Superficiales

Los tratamientos superficiales se utilizan básicamente para los siguientes propósitos:

- a) Formar una capa de protección impermeable para evitar la entrada de agua a las capas subyacentes.
- b) Suministrar una superficie de rodamiento antideslizante. Los agregados ásperos y duros proporcionan resistencia al deslizamiento.

- c) Dar nueva vida a superficies secas y envejecidas.
- d) Suministrar protección temporal a una base nueva.
- e) Proteger pavimentos viejos que se han deteriorado por la edad o por grietas de retracción o de fatiga, mientras se efectúa un mejoramiento permanente.
- f) Definir acotamientos para que no se confundan con carriles de circulación.
- g) Permitir la aplicación de franjas ruidosas para seguridad.

RIEGO DE GRAVILLAS

El riego de gravillas es un tratamiento superficial comúnmente usado, el cual puede ser del tipo simple o doble. Se define como tratamiento superficial simple a la aplicación de una película continua de producto asfáltico sobre la superficie vial, seguida de la extensión y compactación de una sola capa de agregado. El tratamiento superficial doble se define como la aplicación consecutiva de dos tratamientos superficiales simples, los cuales generalmente son de diferentes características.

Condiciones de Aplicación

El equipo necesario para esta aplicación consta de una barredora mecánica o personal de limpieza, petrolizadora, camiones de volteo equipados con esparcidores y un compactador tipo plancha ligera o del tipo neumático (de preferencia).

Recomendaciones Generales

1. Se recomienda utilizar materiales pétreos libres de polvo para que cumplan con las especificaciones y tenga mejor adherencia con el asfalto. Otra opción es premezclarlo antes de efectuar el riego.
2. Cuando se usan emulsiones asfálticas, conviene humedecer ligeramente el material pétreo con el fin de eliminar el polvo adherido a la gravilla. Una variante de esta opción es la de premezclar con emulsión dicho material pétreo antes de efectuar el riego de gravilla.

EMULSIONES ESPECIALES PARA RIEGO DE IMPREGNACION

El riego de impregnación es la aplicación de un asfalto fluidizado a la base granular de un pavimento que no ha sido tratado previamente, con la finalidad de obtener una superficie negra, de impermeabilidad uniforme, con mayor resistencia y sin la presencia de polvo o partículas minerales sueltas.

RENIVELACIONES LOCALES

Es el conjunto de actividades que se realizan sobre la superficie de rodamiento de un pavimento asfáltico para corregir deformaciones permanentes, tales como roderas, depresiones y corrugaciones, entre otras, con el propósito de restablecer las características geométricas, de drenaje superficial, de seguridad y de comodidad de la carretera.

CARPETAS DE UN RIEGO

Las carpetas de un riego son las que se construyen sobre la superficie de una carpeta asfáltica, mediante la aplicación de un riego de material asfáltico y una capa de material pétreo triturado, de composición granulométrica determinada, con el objeto de restablecer o mejorar las características de resistencia al derrapamiento y la seguridad de la superficie de rodamiento. Pueden ser premezcladas o no.

CARPETAS DE GRANULOMETRÍA ABIERTA

Las carpetas de granulometría abierta, son aquellas que se construyen sobre la superficie de una carpeta asfáltica, mediante el tendido y compactación de una mezcla elaborada generalmente en caliente, de cemento asfáltico, modificado o no y materiales pétreos de granulometría uniforme, con bajo contenido de finos y alto porcentaje de vacíos, con la finalidad principal de permitir que el agua proveniente de la lluvia sea desplazada por las llantas de los vehículos, ocupando sus vacíos, con lo que se incrementa la fricción de las llantas con la superficie de rodamiento, se minimiza el acuaplaneo, se reduce la cantidad de agua que se impulsa sobre los vehículos adyacentes y se mejora la visibilidad del señalamiento horizontal, restableciendo o mejorando las características de comodidad y seguridad de la superficie de rodamiento

CARPETAS DE MORTERO ASFÁLTICO

Las carpetas de mortero asfáltico son las que se construyen sobre la superficie de una carpeta asfáltica, mediante el tendido y compactación de una mezcla elaborada generalmente en frío, de emulsión asfáltica y materiales pétreos de granulometría fina, con el objeto de restablecer o mejorar las características de resistencia al derrapamiento y la seguridad, así como corregir desprendimientos menores. Por lo general, son carpetas delgadas, del orden de un (1) centímetro de espesor.

SISTEMA DE ASFALTO AHULADO

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

RIEGO DE SELLO

Es un tratamiento superficial de asfalto sobre las superficies del pavimento que se aplica en aspersión y luego se cubre con agregado pétreo limpio de tamaño uniforme y se ajusta el índice de aplicación de asfalto de acuerdo a las características de la superficie del pavimento existente y se selecciona el tamaño del agregado de acuerdo al espesor de la membrana.

El asfalto mejora y extiende el nivel de servicio de los pavimentos de concreto asfáltico deteriorados tales como el agrietado tipo piel de cocodrilo y por bloques.

USOS APROPIADOS.

Hay una variedad de situaciones donde los sellos de asfalto denominados también (SAMI) suministran alternativas altamente ventajosas sobre las estrategias, métodos y/o materiales convencionales existentes.

Los sellos de asfalto no pueden mejorar el perfil de la superficie de rodamiento existente porque son capas delgadas que siguen el perfil de este; sin embargo, pueden mejorar la capacidad estructural permitiendo que se establezca el contenido de humedad de la base, sub-base y subrasante, retrasando la entrada de humedad adicional.

MEMBRANA INTERMEDIA PARA ABSORBER ESFUERZOS.

Es un riego de sello con asfalto (SAMI) construido sobre el pavimento existente y sobre el cual se construyen capas de concreto asfáltico convencional o concreto. La utilidad de las SAMI de asfalto es la de extender la vida de servicio de las sobrecapas retardando significativamente la reflexión

de las grietas. Las SAMI también protegen contra el agua el pavimento que está debajo de ellas y retrasa significativamente su endurecimiento por envejecimiento.

Una función adicional para lo cual son apropiados las SAMI es controlar la reflexión de grietas sobre bases tratadas con cemento o estabilizadas con cal. Debido a los bajos módulos de las SAMI mejoran significativamente la resistencia a la reflexión de grietas, y puede reducirse por lo general el espesor de la sobrecarpeta de concreto asfáltico.

CONCRETO ASFALTICO DE GRADUACION ABIERTA.

Se emplea para suministrar una carpeta de fricción más durable la reflexión de grietas, a la oxidación, al desnudamiento y al desgaste en cadena. Para reducir significativamente los niveles de ruido. Para aumentar la seguridad reduciendo el salpicado por otros vehículos aumentando la visibilidad y reduciendo el efecto de hidropilaje al impedir la acumulación de agua en la superficie de rodamiento. Para aumentar el confort en el manejo y la resistencia al deslizamiento.

CONCRETO ASFALTICO AHULADO GAP GRADED

Los agregados pétreos que se utilizan en el concreto asfáltico ahulado Gap Graded son mucho más limpios, teniendo como objetivo que sólo el 20% pasen la malla No. 8 y un máximo de 7% pasen la malla No. 200. Los límites de granulometría caen a la mitad de los límites respectivos de las granulometrías densa y abierta. Al ser compactado el agregado pétreo (VMA) da hasta un 1.9%, lo que permite alojar una mayor cantidad de cementante de asfalto ahulado en la mezcla. Esta mezcla resultante es muy densa, sella los pavimentos muy agrietados e impide que la humedad penetre a las capas inferiores y la estabilidad de la mezcla proviene de la estructura que forma con los agregados pétreos.

SISTEMA DE TRES CAPAS

Es la construcción de una carpeta de concreto asfáltico convencional o concreto asfáltico ahulado seguido de una SAMI (membrana intermedia para absorber esfuerzos) y sobre esta se construye una sobrecarpeta de concreto asfáltico ahulado de graduación abierta o de concreto asfáltico convencional. Proporciona un medio de restaurar la calidad del manejo y la suavidad de pavimentos deteriorados de concreto asfáltico como una alternativa al fresado y al ranurado. Mejora la capacidad estructural para pavimentos fatigados o pavimentos de concreto asfáltico que tienen grietas, fallas o surcos, también para extender la vida del pavimento suministrando una superficie durable sin reconstrucción.

SISTEMA DE DOS CAPAS

Es la construcción de un SAMI (membrana intermedia para absorber esfuerzos) sobre la que se construye una sobrecarpeta de concreto asfáltico ahulado. Proporcionan un sello a prueba de agua, minimizando y retrasando la reflexión de grietas. Se recomiendan los sistemas de dos capas para usarse donde sea necesario poner una sobrecarpeta para aumentar la manejabilidad y donde la resistencia a la reflexión de grietas sea considerada crítica por el comportamiento y una larga vida de servicio.

CONCRETO DE ASFALTO AHULADO

El concreto de asfalto ahulado consiste en una mezcla de agregado pétreo y cementante de asfalto ahulado. Para propósitos de estimación, el por ciento de asfalto ahulado en la mezcla deberá ser del orden de nueve (9.0) por ciento, los vacíos de la mezcla deberán ser en el rango de 3.0 a 5.0 por ciento; el agregado deberá estar de acuerdo con los requerimientos para concreto de asfalto ahulado, el equivalente de arena 65 mínimo el agregado triturado 85 mínimo (retenido en la malla No. 8, por lo menos una cara triturada, producida por trituración).

ASFALTO AHULADO.

El cementante de asfalto ahulado deberá estar de acuerdo a normas, el cementante de asfalto ahulado deberá reaccionar con el cemento asfáltico aproximadamente a 180 ± 10 grados C durante 60 minutos.

EQUIPO DE MEZCLADO DE ASFALTO AHULADO AGREGADO

Deberá hacerse la edición y el mezclado del asfalto ahulado con el agregado con uno de los siguientes tipos de plantas de asfalto de mezclado en caliente:

a) Planta de mezclado por cargas consistiendo de almacenamiento y alimentación de agregado frío, secador, unidad de control de la granulometría, torres de almacenamiento de agregado caliente, tolva de agregado y unidad de mezclado de doblé flecha. También, la planta puede estar equipada con torres de almacenamiento o tolvas de la mezcla caliente para almacenar la mezcla por tiempo hasta que sea tendida.

b) Planta de mezclado en tambor secador consistiendo en almacenamiento y alimentación de agregado frío, sistema automático de pesaje, mezclador de tambor secador y torres de almacenamiento o tolvas de mezcla caliente para almacenar por corto tiempo la mezcla hasta que sea tendida.

PREPARACION DEL AGREGADO

El agregado deberá ser secado y calentado para suministrar concreto asfáltico inmediatamente después de ser mezclado, teniendo una temperatura que no exceda 160 grados C y un contenido de humedad que no exceda de 1.0 por ciento del peso de la mezcla. La operación de mezclado deberá ser suficiente para alcanzar una mezcla satisfactoria con 100% de partículas recubiertas.

CARACTERISTICAS DEL OPERADOR DE PETROLIZADORA DE ASFALTO AHULADO

Al contratista le será solicitado que obtenga una calificación del operador de asfalto ahulado antes de la aplicación del riego de sello. Los datos que se requieren suministrar para aprobación de la calificación incluirán un registro de su experiencia, lista de equipo indicado, el cumplimiento de las especificaciones y el diseño completo de la mezcla.

El diseño de la mezcla debe incluir todas las pruebas y los certificados del producto especificados. Se requerirá que se haga una prueba de adhesión del agregado pétreo utilizando el diseño propuesto del cementante y del agregado, con el diseño de asfalto ahulado propuesto.

ESPARCIDORA DE AGREGADO PETREO.

La esparcidora del agregado pétreo deberá ser una máquina autopropulsada con una tolva para recibir el agregado en la parte posterior, transportadores de banda para llevar el agregado al frente y una tolva repartidora equipada con gusano de distribución a todo lo ancho y un rodillo repartidor. La esparcidora deberá estar en buenas condiciones mecánicas y ser capaz de aplicar el material pétreo uniformemente a todo lo ancho con la dosificación especificada.

EQUIPO DE COMPACTACION.

Se deberán usar un mínimo de tres compactadores neumáticos autopropulsados para el compactado requerido del material de sello. Las compactadoras de neumáticos deberán llevar una carga mínima de 3,000 libras en cada llanta y una presión mínima de aire de 100 libras por pulgada cuadrada también en cada llanta.

EQUIPO DE TRANSPORTE.

Los camiones para transportar el material deberán tener descarga en la parte trasera y deberán estar equipados con un dispositivo para cerrar la bisagra en la parte posterior del repartidor del material de cubierta.

MÉTODOS DE CONSTRUCCION.

Inmediatamente antes de la aplicación de la membrana de asfalto ahulado, deberá limpiarse por completo la superficie para asegurar una adhesión adecuada del asfalto ahulado al pavimento. El material asfáltico deberá aplicarse únicamente cuando la superficie existente esté seca y la temperatura atmosférica sea mayor de 10 grados C. No se deberá aplicar el material cuando la lluvia sea inminente o cuando el viento sea excesivo.

MEZCLADO DEL ASFALTO AHULADO Y REACCION.

El asfalto y el hule deberán ser combinados y mezclados en la unidad mezcladora de asfalto ahulado y permitir que reaccione en el distribuidor por un período de tiempo según sea recomendado por el proveedor de asfalto ahulado el cual deberá estar basado en proveedor del asfalto ahulado

APLICACION DEL ASFALTO AHULADO.

Deberá hacerse la colocación de la membrana de asfalto ahulado únicamente bajo las siguientes condiciones:

- a) La temperatura de la superficie del pavimento deberá estar aumentando.
- b) La superficie del pavimento deberá estar limpia y absolutamente seca.
- c) Que las condiciones del viento no sean excesivas.
- d) Que todos los equipos de construcción, tales como la esparcidora de asfalto ahulado, la esparcidora de material de sello, camiones de transporte con material de sello y el equipo de compactación estén en posición y listas para comenzar las operaciones de colocación de la membrana
- e) Que no sea inminente la lluvia.

Las juntas transversales deberán construirse colocando papel a lo ancho y al final, sobre la capa de asfalto ahulado, previamente aplicado. Todas las juntas longitudinales no deberán tener un traslape mayor de 10 centímetros

APLICACION DEL MATERIAL DE SELLO.

El material de sello deberá ser aplicado inmediatamente después del asfalto ahulado a razón de 14.65 a 17.90 kilogramos por metro cuadrado. La cantidad real seleccionada dentro de este rango será determinada en el campo y será basada en su apariencia, después de la primer pasada del equipo de compactación la dosificación deberá mantenerse al mínimo.

Excepto cuando sea necesario que el equipo de acarreo deba viajar sobre la membrana recientemente aplicada, deberá mantenerse todo tipo de tránsito fuera de la membrana hasta que haya tenido tiempo de fijarse apropiadamente. La velocidad de todos los equipos de acarreo no deberá exceder de 25 kilómetros por hora al viajar sobre una membrana que no ha fijado apropiadamente. El período mínimo sin tránsito no deberá ser menor de una hora.