

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA



TESIS

**MEJORA DEL MEDIO AMBIENTE MEDIANTE LA UTILIZACIÓN
DE LLANTAS DE DESECHO EN LA MODIFICACIÓN DE
ASFALTOS**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

PRESENTA

SILVIA ESTELA FRANCO FUENTES

México, D. F.

2005



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
FING/DCTG/SEAC/UTIT/012/04

Señorita
SILVIA ESTELA FRANCO FUENTES
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M.I. GABRIEL MORENO PECERO, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"MEJORA DEL MEDIO AMBIENTE MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE LLANTAS DE DESECHO EN LA MODIFICACIÓN DE ASFALTOS"

- INTRODUCCIÓN
- I. MATERIALES
- II. PROCESO DE ELABORACIÓN DEL ASFALTO AHULADO
- III. APLICACIÓN DEL ASFALTO AHULADO EN PAVIMENTOS
- IV. PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS
- V. ESTUDIO ECONÓMICO
- VI. EXPERIENCIAS CON ASFALTOS AHULADOS
- VII. CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 17 de Febrero del 2004.
EL DIRECTOR

M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO
GER/AJP/erc.

*No. Bo. PADILLA
RICARDO PADILLA*

Aprobado.

*G. Moreno Pecero
8 de Noviembre /05.
Vo.Bo. *[Signature]*
14-11-05.*

[Handwritten signatures and notes]

INDICE

	pág.
Introducción	4
a. Problemática ambiental que causan las llantas de desecho	5
b. Diferentes usos de las llantas de desecho	10
b.1 Como un recurso energético	12
b.2 En obras de ingeniería civil	12
1. Materiales	14
1.1 Cemento asfáltico	14
1.2 Hule molido de neumáticos	20
1.2.1 Procedimiento para la obtención del hule molido	21
1.2.2 Requerimientos físicos	22
2. Proceso de elaboración del asfalto ahulado	25
2.1 Sistema de elaboración del asfalto ahulado	29
2.2 Especificaciones	36
3. Aplicaciones del asfalto ahulado en pavimentos	45
3.1 Riego de sello	46
3.2 Membrana intermedia para absorber esfuerzos	49
3.3 Carpetas asfálticas de graduación abierta	51
3.4 Carpetas de graduación discontinua	54
3.5 Sistemas de tres capas	56
4. Procedimientos constructivos	58
5. Estudio económico	67

6.	Experiencias con asfaltos ahulados	69
6.1	Experiencias en México	69
6.2	Tendencias internacionales	72
7.	Conclusiones	78
7.1	Ventajas	78
7.2	Desventajas	82
	Bibliografía	83
	Anexos	85
	Anexo 1. Normas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes	
	Anexo 2. Matrices de estudio económico	
	Anexo 3. Glosario de términos	

INTRODUCCIÓN

Las llantas son un serio problema debido a que al final de su ciclo de vida útil se convierten en un desecho no bio-degradable. El almacenamiento es sumamente complicado como desecho debido a su forma física y su dispersión geográfica. En la actualidad casi todas las llantas de desecho son apiladas o usadas como relleno en extensiones grandes de terreno, obteniendo como resultado problemas ambientales y sanitarios muy serios.

Una cuestión que preocupa mundialmente es el deterioro **del ambiente**, debido a que se llevan más de 100 años tirando llantas sin ningún tipo de control, y ocasionando una destrucción a los biosistemas en todo el orbe.

La problemática debida a los tiraderos de llantas es muy extensa y algunos ejemplos son: la contaminación de los mantos acuíferos por las sustancias generadas, los gases emanados afectan el aire, pueden causar incendios, y alterar la flora, además de que propician la creación de plagas que transmiten enfermedades altamente contagiosas.

Las principales alternativas de reutilización de llantas que existen son: como combustible alternativo, como medio amortiguador de impactos en maquinaria, equipos automotores y en la navegación, también como barreras protectoras en autopistas, como materia prima en la microindustria de producción de zapato y artículos de hule de una muy rudimentaria técnica; como hule sintético granulado en tapetes moldeados, carpetas, adhesivos de plástico; hule sintético para cruce de vías en carreteras y en aditivos para pavimento asfáltico.

La alternativa de reutilización de llantas de desecho que propongo en esta tesis es como hule molido en la modificación positiva del comportamiento de los asfaltos, lo cual ayudaría a reducir el volumen en los tiraderos y por ende la contaminación, evitando todos los problemas a los que conlleva.

Esta técnica consiste en modificar el asfalto convencional con un porcentaje de hule molido de neumáticos, para obtener un mejor comportamiento de dicho asfalto. Esta modificación se lleva a cabo a temperaturas muy elevadas en plantas o in situ, de acuerdo a ciertas normas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Las principales aplicaciones del asfalto ahulado son el riego de sello que sirve para impermeabilizar una carpeta asfáltica y protegerla del desgaste, la membrana intermedia que se utiliza para absorber esfuerzos la cual extiende la vida de servicio de las sobrecarpetas y retarda el envejecimiento, carpeta asfáltica de graduación abierta que suministra una carpeta de fricción más durable a la reflexión de grietas, carpetas de graduación discontinua que es una mezcla muy densa y estable y por último el sistema de tres capas que sirve para rehabilitar pavimentos deteriorados de concreto asfáltico a un costo inferior del que se tendría para una reconstrucción con fresado o ranurado.

Todas las aplicaciones anteriores ayudan a retrasar y minimizar las grietas, proporcionan un sello a prueba de agua, reduce la contaminación por ruido, extienden la vida del pavimento y suministran una superficie de pavimento durable.

El procedimiento constructivo es muy parecido al que se emplea en un asfalto convencional, sólo que el asfalto ahulado requiere mas cuidados en su fabricación y aplicación, sobretodo por las altas temperaturas a las que se tiene que manejar.

Por lo tanto considero que si se logra un mínimo beneficio en el comportamiento del asfalto ahulado, vale la pena su uso, ya que se resuelve en gran parte un problema ecológico.

Como ocurre en general en la tecnología de pavimentos, los avances tenidos han sido fundamentalmente debido a "investigación experimental" que por razones lógicas se apoya en experiencia cuyo origen es empírico y que con los conocimientos de ingeniería han sido objetivizados.

Esta tesis se considera como una aportación importante, porque recopila, analiza e interpreta la información técnica y de otra índole acerca del tema. En la Facultad de Ingeniería, en donde el conocimiento del mismo es escaso, puede ser muy útil a los estudiantes de la carrera de ingeniero civil.

a. Problemática ambiental que causan las llantas de desecho

El almacenamiento de llantas de desecho representa un problema complejo debido a su forma, tamaño, características físicas y químicas, y al volumen que se consume y posteriormente se desecha. Actualmente son consideradas como residuos de manejo especial.

Los problemas más comunes derivados de la disposición inadecuada de llantas de desecho son:

- Ocupan un volumen considerable en los rellenos sanitarios.
- Otro riesgo de los incendios es que crean desastres ambientales, debido a que son difíciles de controlar ya que las llantas guardan oxígeno que ayuda a la quema de las mismas. Estos incendios han durado hasta nueve meses.
- Por otro lado, las llantas sueltan aceites y otros materiales tóxicos que se filtran en la tierra llegando a los mantos acuíferos y al drenaje contaminando corrientes de agua y pozos.
- Provocan contaminación atmosférica; cuando se queman en incendios o en condiciones no controladas producen denso humo cancerígeno que deteriora la visibilidad y recubre los suelos; las emisiones de gas incluyen hidrocarburos policíclicos aromáticos, bióxido de nitrógeno, bióxido de azufre

y monóxido de carbono. Las consecuencias de las emisiones de este tipo se indican a continuación.

Efectos en la salud y en la vegetación debido a los contaminantes del aire

Contaminante	Efectos en la salud	Efectos en la vegetación:
Bióxido de azufre	Irritación de los ojos y tracto respiratorio. Reduce las funciones pulmonares y agrava las enfermedades respiratorias como el asma, la bronquitis crónica y el enfisema.	Lesiones en las hojas y reducción de la fotosíntesis
Bióxido de nitrógeno	Irrita los pulmones , agrava las enfermedades respiratorias y cardiovasculares	Caída prematura de las hojas e inhibe el crecimiento
Monóxido de carbono	La carboxihemoglobina afecta el sistema nervioso central y provoca cambios funcionales cardíacos y pulmonares, dolores de cabeza, fatiga, somnolencia, fallos respiratorios y hasta la muerte	Caída prematura de las hojas
Benceno	Leucemia, síntomas neuróticos, daños al hueso medular, incluye anemia y aberraciones cromosómicas.	
Hidrocarburos policíclicos aromáticos	Estos compuestos pueden ser absorbidos en el intestino y los pulmones. Son mutagénicos y cancerígenos	

Fuente: INEGI. Estadísticas del Medio Ambiente. México 1994. p. 319 , 320.
Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000

- En el caso de que sean "sepultadas" las llantas de desecho en un terreno, estas pueden "flotar" hacia la superficie, romper la cubierta y exponer nuevamente el entierro de los desperdicios al medio ambiente. Todos los tiraderos donde se encuentran apiladas las llantas de desecho, se convierten en lugares en los cuales se desarrolla una gran variedad de plagas, por lo anterior, es muy preocupante el renglón de SALUD, pues se ha comprobado que aproximadamente un millón de mosquitos se desarrollan en condiciones óptimas dentro de su ciclo de reproducción, y lo anterior se puede lograr en el interior de una llanta que contenga agua estancada dentro de la misma. Además de los mosquitos también existe la plaga de ratas que al igual que los anteriores transmiten enfermedades altamente contagiosas y peligrosas como son: rabia, paludismo, encefalitis de San Luis, encefalitis de La Crosse, hepatitis viral (tipo B), fiebre del dengue, fiebre amarilla y malaria, entre otras.

La solución más sencilla para las llantas de desecho después de la Segunda Guerra Mundial, fue tirarlas en grandes extensiones de terrenos, utilizándose como rellenos o apiladas en grandes montañas. Se calcula que hoy en día existen más de diez mil millones de llantas en estas condiciones, en todo el mundo.

Dichos tiraderos de llantas anteriormente estaban permitidos por las autoridades en todo el mundo, por lo que crecieron indiscriminadamente, de tal manera que esas llantas apiladas en grandes montañas, provocaron fuertes incendios, focos de infección que derivaron en problemas ambientales y políticos.



Incendio en un parque de llantas de desecho

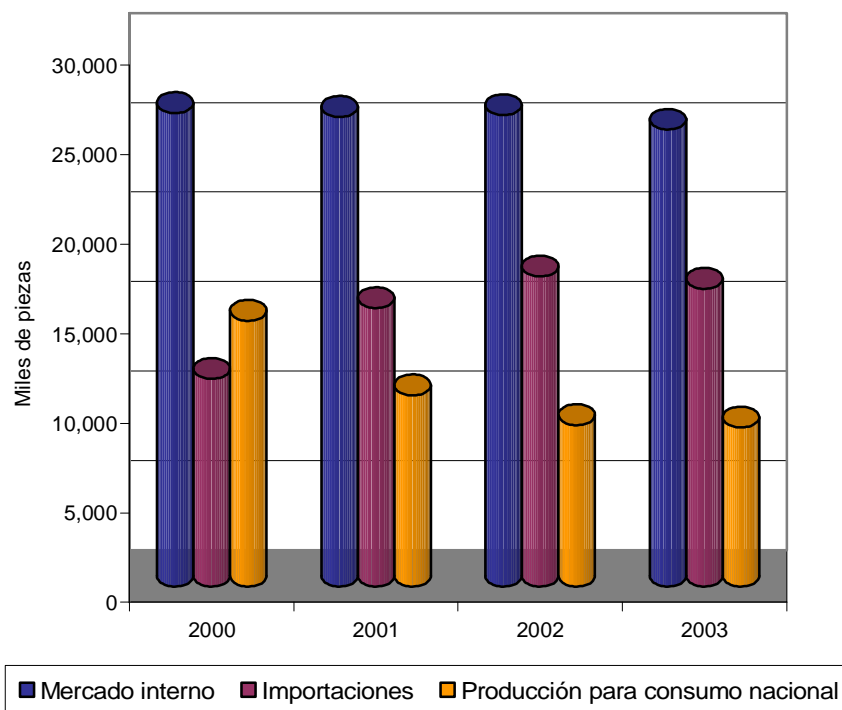
Magnitud del problema

En el año 2003 en México, se contaba con una producción de llantas de 14,240,000 y un mercado interno de 25,528,000 llantas. Por otra parte hay que tomar en cuenta que la vida útil de una llanta es aproximadamente de 36 meses para automóviles y de 3,000 horas para camiones. Anualmente se está teniendo un incremento en la producción de llantas lo que significa que las anteriores se convertirán en basura no biodegradable y empezarán a causar daños muy severos.

	2000	2001	2002	2003
Producción de llantas nacional	19,879,000	13,650,000	11,995,000	14,240,000
Importaciones	11,598,000	15,563,000	17,329,000	16,640,000
Exportaciones	5,019,000	2,969,000	2,978,000	5,352,000
Mercado interno	26,458,000	26,244,000	26,346,000	25,528,000

Nota metodológica: (1) Total de llantas de automóvil, camioneta, camión, agrícolas e industriales.
Fuentes: INEGI, Cámara Nacional de la Industria Hulera

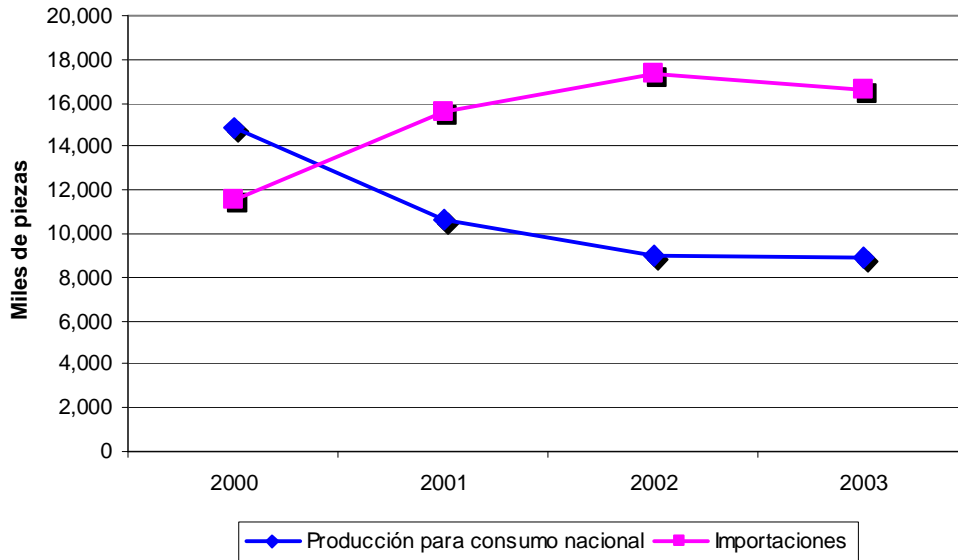
El mercado nacional de llantas (1994-2003):
Producción para consumo nacional, importaciones y tamaño de mercado interno



La importación de llantas ha aumentado considerablemente respecto al año 2000, sin embargo la producción de llantas nacionales ha disminuido con relación al mismo año, aún así la cantidad de llantas existentes en nuestro país es muy elevada y la producción es continua lo cual representa un incremento anual considerable en las llantas de desecho.

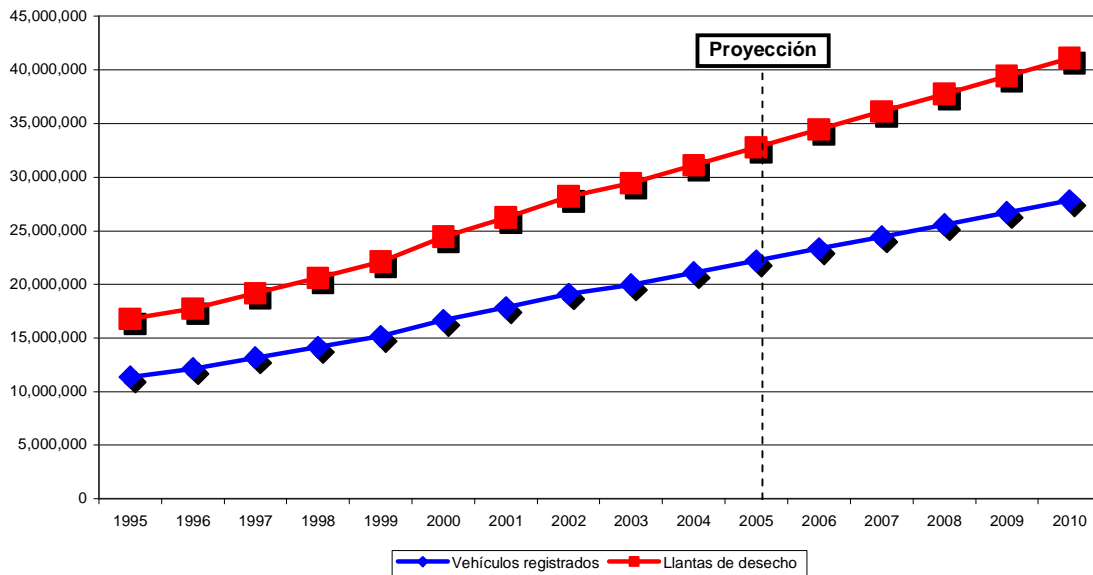
La importación de neumáticos revitalizados y usados también proviene casi en su totalidad de los Estados Unidos. La importación de llantas usadas parece deberse a varias razones, entre ellas destaca que las llantas en los E.U. son desechadas aparentemente en buenas condiciones, y su precio de venta en México es menor al de una nueva. Y aún con lo anterior se debe mencionar que E.U. escasamente revitaliza llantas.

Producción de llantas para consumo nacional vs. importaciones de llantas (1994-2003)



Las llantas de desecho iniciaron su aparición cuando los primeros neumáticos de los primeros vehículos llegaron a su desgaste final y se desecharon. De ahí al día de hoy se calcula que se producen 31 millones de llantas de desecho anualmente, con una proyección para el 2010 de 41 millones de llantas de desecho.

Parque vehicular nacional y generación de llantas de desecho 1995-2004 y proyección hasta 2010



Fuentes: INEGI, Cámara Nacional de la Industria Hulera y SSFNA a partir de factores de desgaste estimados por el INE.

Con lo expuesto se puede notar que es necesario tomar una medida, tal como la que se propone en esta tesis, para poder disminuir las llantas de desecho

debido a que tal cantidad de basura requerirá un gran espacio de almacenamiento.

b. Diferentes usos de las llantas de desecho

Los principales procesos o rubros de reutilización de las llantas desechadas son: combustible, productos, ingeniería civil, pirólisis, agricultura. Predomina la reutilización como combustible en hornos de cemento, tabiqueras de ladrillo rojo y en aplicaciones de ingeniería, de acuerdo a los casos internacionales revisados. En algunos países la reutilización de las llantas es apoyada mediante cargos, impuestos o subsidios como en Estados Unidos. México se encuentra en la fase inicial de reutilización bajo condiciones controladas, empleándose como combustible alternativo y existen propuestas de pirólisis y desmenuzado.

Alternativas de reutilización

Las principales alternativas para la disposición de llantas son:

- a) Reducción en la fuente: diseñar llantas de más larga vida, rotación de llantas para prolongar la vida de las mismas, revitalización de llantas usadas en buenas condiciones.
- b) Reciclado: Mediante diferentes procesos y tecnologías las llantas pueden convertirse en energía, obtener subproductos, recuperar materia, utilizarse como materia prima para elaborar otros productos o simplemente emplearse de forma directa.

Los procesos de reciclado más conocidos hasta ahora son: incineración bajo condiciones controladas, ya sea como combustible alternativo o para generar energía, pirólisis, criogénesis, devulcanizado y desmenuzado, entre otros.

Las llantas de desecho también pueden reutilizarse como productos o material, de la siguiente manera:

- a) Llantas enteras: Arrecifes artificiales y barreras al agua, equipos para parques de diversión, control de la erosión y barreras protectoras en autopistas.
- b) Llantas en tiras: tapetes, cinturones, juntas, suelas de zapatos, etc.
- c) Llantas desmenuzadas: material ligero para construcción de carreteras, sustituto de grava en parques de diversiones, caballerizas y establos, sedimento.
- d) Hule sintético granulado: productos de plástico y hule sintético (por ejemplo tapetes moldeados, carpetas y adhesivos de plástico), hule sintético para cruce de vías en carreteras y aditivos para pavimentos de asfalto.

En nuestro país las llantas de desecho tienen los siguientes usos:

- Disposición en tiraderos a cielo abierto y rellenos sanitarios.
- Disposición en patios y azoteas particulares.
- Uso como combustible en hornos ladrilleros y artículos de barro sin control en sus emisiones a la atmósfera.
- Uso como combustible alternativo en hornos cementeros autorizados y altamente controlados por la autoridad ecológica.

Al quemarse la llanta, el 100 % de sus componentes son cancerígenos.

- Uso como materia prima de una microindustria de producción de zapato, huarache y artículos de hule de muy rudimentaria técnica y forma sencilla, sin control alguno de sus recortes y desperdicios.
- Uso como muros de contención y ornato, principalmente en parques recreativos y pistas de carreras.
- Uso en zonas de granjas como bebederos para la cría de especies menores.
- Uso como medio amortiguador de impactos en maquinaria y vehículos automotores pesados.
- Uso en la navegación en muelles y en embarcaciones como elementos de protección de impactos.
- Uso como material de apoyo y seguridad en diversas actividades deportivas.
- Y en una industria naciente que es el reciclado de llantas de desecho, para la obtención de hule molido, acero y fibras sintéticas. El hule molido se emplea principalmente para la modificación de asfaltos y una variedad de artículos de hule.

Actualmente el 80% de las llantas de desecho tiene como destino final los tiraderos y rellenos sanitarios.

Un consumidor importante es la industria cementera que consume entre el 5% y el 15%.

Se espera que las empresas recicladoras de llantas de desecho absorban un 25% del 80% antes mencionado. El crecimiento de estas empresas ya instaladas en el país y otras que se pudieran instalar dependerá del consumo que haya del hule molido para emplearse principalmente en asfaltos modificados, que sería el principal consumidor de esta industria.

Esta industria ayudaría enormemente a darle un destino final *ecológico* a las llantas de desecho.

Si se utilizaran las llantas de desecho en el 5% de las carpetas asfálticas, cerca de todas las llantas de desecho del país podrían ser removidas con la corriente de desperdicio. Debido a que se utilizan en una sobrecarpeta de 5cm de espesor de concreto asfáltico ahulado aproximadamente 1,250 llantas, por

carril, por kilómetro. Con el riego de sello se utilizan más o menos 312 llantas, por carril, por kilómetro.

b.1 Como un recurso energético

En términos de combustible, las llantas tienen un poder calorífico equivalente al del carbón (hulla) y constituyen una excelente fuente de energía.

En México las llantas se han utilizado como combustible en hornos para fabricar ladrillos, tejas y artículos de barro, pero esta utilización ha sido incorrecta ya que no hay control de las emisiones.

La reutilización de llantas de desecho en México, bajo condiciones controladas o que favorecen el medio ambiente, es incipiente. La incineración en hornos de cemento bajo condiciones controladas está a nivel de pruebas y existen propuestas de los procesos de pirólisis y desmenuzados.

Dos empresas de cementos han realizado pruebas en sus hornos para utilizar las llantas como combustible alternativo ya que la fabricación de cemento es intensiva en consumo de energía. Una empresa ha probado la formulación de combustible alternativo en los hornos de Huichapan (Hidalgo), Ciudad Juárez y Ensenada (Baja California) y tiene cuatro centros de acopio donde recibe llantas enteras.

b.2 En obras de ingeniería civil

Como se mencionó anteriormente las llantas de desecho son utilizadas diversamente, y una de las aplicaciones que podemos encontrar es su utilización en obras de ingeniería civil. Algunas de las aplicaciones son las siguientes:

Como muros de contención y ornato, principalmente en parques recreativos, así como también en parte de los juegos recreativos.

El reciclado de neumáticos, re-utilización de caucho de neumáticos para la fabricación de suelos o pavimentos amortiguadores de impactos (losetas) y antideslizantes. Suelos de caucho flexibles protectores anticaídas, pavimentos de goma reciclada flexibles de acción anticaída, pavimentos de caucho para juegos de niños, guarderías, colegios, centros de salud, hospitales, jardines, etc.

Como medio amortiguador de impactos en maquinaria y vehículos automotores pesados, un ejemplo muy claro en México es su utilización en el tren ligero.

En la navegación en muelles y en embarcaciones como elementos de protección de impactos.

Como barreras protectoras en autopistas y el hule sintético es usado para cruce de vías en autopistas.

Por último el uso al que nos vamos a referir es como aditivos para pavimentos de asfalto mejorado, debido a que así se pretende mejorar el ambiente y al mismo tiempo obtener un mejor comportamiento en los asfaltos.

Mediante el reciclado de las llantas se pretende evitar los tiraderos y poder eliminar las fuentes de incendios pero principalmente toda la contaminación que provocan las llantas de desecho como los gases que afectan a la flora, las plagas que transmiten enfermedades como la encefalitis y la fiebre amarilla, y las sustancias que son filtradas y contaminan a los mantos acuíferos.

A pesar de todos los empleos que existen para las llantas de desecho, estos se utilizan en un porcentaje mínimo y es debido a lo anterior por lo que se siguen teniendo tiraderos, así que al utilizar asfaltos ahulados se puede disminuir potencialmente esta contaminación.

1. Materiales

Para poder entender el concepto de asfalto modificado con hule de llantas, se tratarán primero los materiales requeridos: cemento asfáltico y hule molido de neumáticos.

Dichos materiales requieren de un procedimiento específico para su obtención, así como de ciertas características.

1.1 Cemento asfáltico

El cemento asfáltico es un asfalto fluxado o no, especialmente preparado de una calidad y consistencia para uso directo en la construcción de pavimento asfáltico y teniendo una penetración a 25°C entre 5 y 300 décimas de milímetro bajo carga de 100 gramos, aplicada en 5 segundos en una cápsula con un diámetro de 55mm y altura interior de 35mm, y una viscosidad de 200 a 10,000 poises a 60°C. Asfalto refinado por destilación al vapor de los residuos mas pesados del proceso de fraccionación, continuándose la destilación hasta obtener la penetración deseada, especialmente preparado en cuanto a calidad y consistencia para ser usado directamente en la producción de pavimentos asfálticos.

Es generalmente viscoso y pegajoso. Se adhiere fácilmente a las partículas del agregado, lo que hace que sea un aglutinante inmejorable para unir las partículas del agregado en un pavimento de mezcla en caliente. Es también un muy buen material impermeabilizante y no es afectado por los ácidos, los álcalis o las sales. Por lo que un pavimento de concreto asfáltico, construido adecuadamente, es impermeable y muy resistente a diferentes tipos de daños químicos.

El asfalto presenta cambios cuando es expuesto a calentamiento y/o envejecimiento. Comienza a volverse duro, frágil y a perder parte de su capacidad de adherirse a las partículas del agregado. Estos cambios se pueden minimizar si se conocen las propiedades del asfalto, y si se tienen las suficientes precauciones durante la construcción y se da un buen mantenimiento, se puede retardar el proceso de envejecimiento.

Para producir asfalto con características específicas, se usa el crudo de petróleo o mezclas de diferentes crudos de petróleo. El asfalto es preparado de las otras fracciones del crudo en las refinerías por medio de destilación, por vacío o extracción con solventes.

Los cementos asfálticos se clasifican en sistemas diferentes: penetración, viscosidad, viscosidad después del envejecimiento y comportamiento o grado performance (PG). Cada uno de los anteriores tiene diferentes grados y rangos de consistencia.

El sistema de penetración consiste en dejar penetrar una aguja normal dentro de una 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. Mientras más penetra la aguja, más blando es el asfalto; así se tienen que si la aguja penetró entre 200 y 300 décimas de milímetro (grado 200-300), es un asfalto blando. Un grado 40-50, por ejemplo, es de un asfalto duro, debido a que sólo se penetró en 40 y 50 décimas de milímetro. Existen 5 grados patrones de penetración: 40-50, 60-70, 85-100, 120-150 y 200-300.

El sistema más empleado está basado en la viscosidad del asfalto. Se emplean parámetros de acuerdo a las necesidades específicas de cada región. Así que se requiere del conocimiento de dichas especificaciones de acuerdo a la región requerida.

En el sistema de viscosidad, el poise (gr-cm/seg) es la unidad de medida para la viscosidad absoluta. Mientras más alto el número de poises, es más viscoso el asfalto. Por ejemplo un AC-5 (cemento asfáltico con una viscosidad de 500 poises a 60°C) es conocido como un asfalto “blando”; en cambio un asfalto AC-40 (cemento asfáltico con una viscosidad de 4000 poises a 60°C) es conocido como un asfalto “duro”.

El asfalto se clasifica de acuerdo a su viscosidad después de envejecido debido a que se requiere identificar las características de viscosidad una vez que se ha colocado el asfalto en el pavimento. Con el objeto de simular lo que ocurre en una planta asfáltica durante el mezclado, el asfalto debe ser ensayado en el laboratorio utilizando un patrón de envejecimiento, el residuo asfáltico que queda después de la prueba es clasificado de acuerdo con su viscosidad.

El grado de comportamiento (PG) califica al ligante asfáltico basándose en las temperaturas bajo las cuales se espera va a trabajar en la obra así como el tiempo de carga y envejecimiento. Ejemplo: un ligante asfáltico con un PG 64-28 es apropiado para temperaturas de pavimento tan altas como 64°C y tan bajas como 28°C, es decir, que indica las temperaturas máximas y mínimas que puede alcanzar ese pavimento.

Propiedades químicas del cemento asfáltico.

En cuanto a la química y microestructura del petróleo puede ser considerada en dos niveles: química a nivel molecular y química a nivel intermolecular. La química a nivel molecular, es una mezcla compleja de moléculas orgánicas que varían de tamaño y peso molecular, de varios cientos a varios miles; más aún, varían siendo de igual peso molecular, de no polares en especies tales como hidrocarburos alifáticos, a altamente polares como piridinas, quinoleínas, fenoles y ácidos carboxílicos; en este nivel son muy susceptibles de oxidación, convirtiéndose de sulfuros alifáticos a óxidos de azufre y de carbón bencílico a quejona (acetona). Esto ocurre en los asfaltos a alta temperaturas de servicio. La química a nivel intermolecular se relaciona con características de comportamiento adicional diferente al anterior. La mayor cantidad de material polar muestra una organización continua de asociación interna en cadena o matriz, que imparte una cierta cantidad de características elásticas del asfalto. Esta forma de asociación es dispersada dentro o soportada por la pérdida de

polaridad en porciones no polares del asfalto. Algunas de las moléculas polares son típicas del asfalto y otras son formadas por oxidación.

El asfalto tiene propiedades químicas que lo hacen muy versátil como material de construcción de carreteras.

La composición química es uno de los medios más usados y precisos para identificar las propiedades de cualquier sustancia. Pero existen varias razones por las cuales la química no ha llegado a ser un medio de clasificación. Por ejemplo, la complejidad y sofisticación de los equipo de laboratorio, así como la incertidumbre en la relación entre la composición química del cemento asfáltico y su comportamiento en la estructura del pavimento.

El asfalto está compuesto básicamente por hidrocarburos y algunas trazas de azufre, oxígeno, nitrógeno y otros elementos. El asfalto, cuando es disuelto con algún solvente como el heptano, puede separarse en dos partes principales: asfaltenos y maltenos.

Una de las partes principales que no se disuelve en el heptano son los asfaltenos. Estos al ser separados de los maltenos son usualmente de color negro o pardo oscuro y se parecen al polvo grueso de grafito. Ellos dan al asfalto su color y dureza.

Los maltenos si se disuelven en el heptano al contrario de los asfaltenos. Debido a que son líquidos viscosos compuestos de resinas y aceites. Las resinas son, por lo general, líquidos pesados de color ambar o pardo oscuro, mientras que los aceites son más claros. Las resinas proporcionan al asfalto las cualidades adhesivas, mientras que los aceites actúan como un medio de transporte para los asfaltenos y las resinas.

La proporción de los asfaltenos y los maltenos en los asfaltos puede variar debido a un sinnúmero de factores, incluyendo altas temperaturas, exposición a la luz y al oxígeno, tipo de agregado usado en la mezcla del pavimento, así como el espesor de la película del asfalto en las partículas del agregado. Las reacciones y cambios que pueden ocurrir incluyen: evaporación de los compuestos más volátiles, oxidación, polimerización y otros. Los aceites se pierden y ocasionan un aumento en la viscosidad del asfalto.

Propiedades físicas del cemento asfáltico.

Las propiedades físicas que tienen mayor importancia para el diseño, construcción y mantenimiento de los asfaltos en las carreteras son su durabilidad, adhesión, susceptibilidad a la temperatura, envejecimiento y endurecimiento.

Con respecto a la reología de los asfaltos se puede afirmar que: “La reología es la respuesta o comportamiento del cemento asfáltico en función del tiempo de esfuerzo, que produce una deformación a una determinada condición de temperatura”.

Durabilidad

Es la medida de qué tanto puede retener un asfalto sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento. Es la propiedad de una mezcla asfáltica de pavimentación que describe su habilidad para resistir desintegración por efectos ambientales o de tránsito. Los efectos ambientales incluyen cambios en las características del asfalto, tales como oxidación y volatilización, cambios en el pavimento y en el agregado debido a la acción del agua, incluyendo congelamiento y deshielo. Para evaluarla existen pruebas rutinarias como son la prueba de película delgada en horno convencional y en horno rotatorio.

Adhesión y cohesión

La adhesión es la capacidad de un Asfalto residual para quedar fijo en el agregado, al que recubre sin peligro de desplazamiento, incluso en presencia de agua, tráfico y cambios bruscos de temperatura. La primera condición para que exista adherencia entre dos materiales es que estén en contacto, por lo que es muy importante que el Asfalto quede distribuido en toda la superficie específica del agregado, es decir, que el asfalto moje el agregado; la segunda condición es que la unión asfalto agregado sea resistente a la humedad y a los cambios bruscos de temperatura.

La cohesión es la capacidad de adherirse dos materiales entre sí. Es la capacidad aglomerante de la mezcla que le permite resistir los esfuerzos y efectos abrasivos y de succión originados por el tráfico. Puede ser afectada por bajas o altas temperaturas.

El ensayo de ductilidad no mide directamente la adhesión o cohesión, más bien, examina una propiedad del asfalto considerada como relacionada con la adhesión y la cohesión. El ensayo sólo puede indicar la longitud a la cual puede estirarse sin romperse, una probeta asfáltica de forma y dimensiones normalizadas, según la temperatura y velocidad de estiramiento especificadas. Que tanto puede ser elongado el asfalto a diferentes cambios de temperaturas.

Susceptibilidad a la temperatura

Los asfaltos son termoplásticos, esto significa, que se vuelven más duros en la medida en que la temperatura disminuye y más blandos cuando aumenta, la cual es una de las propiedades más valiosas del asfalto. Dicha susceptibilidad varía entre los asfaltos de petróleos de diferente origen, aún sí los asfaltos tiene el mismo grado de consistencia.

El asfalto debe tener suficiente fluidez a altas temperaturas para que pueda cubrir las partículas del agregado y llenar los vacíos durante el mezclado y permitir así que las partículas se desplacen una respecto a otras durante la compactación. Después debe de ser lo suficientemente viscoso, a temperaturas ambientales normales, para poder mantener unidas las partículas del agregado.

Endurecimiento y envejecimiento

Los asfaltos empiezan a endurecerse desde su mezcla durante la construcción de la capa del pavimento de la que forma parte, y este proceso continúa al terminarse la construcción del pavimento. Este endurecimiento es causado por el proceso de oxidación, el cual ocurre con más facilidad a altas temperaturas, (entre 160°C y 190°C) tal como las correspondientes a la temperatura de construcción y las que se generan en la película delgada de asfalto.

No todos los asfaltos se endurecen de igual manera cuando son calentados a la misma velocidad en películas delgadas.

El envejecimiento del asfalto se produce por medio de variadas y complejas reacciones, cuando éste está expuesto a agentes ambientales como calor y oxígeno. El envejecimiento produce cambios en el comportamiento reológico del asfalto, transformándolo en un material más rígido y de menor susceptibilidad térmica. Durante la vida del asfalto se pueden distinguir dos procesos muy importantes de envejecimiento: (1) primario, el cual se produce durante el mezclado, almacenamiento y colocación de la mezcla asfáltica, y (2) Secundario, que es el que sufre el asfalto durante la vida de servicio del pavimento.

- Propiedades o características deseables del cemento asfáltico

Para los estudios técnicos y la construcción hay tres propiedades o características del asfalto importantes: (a) consistencia (llamada también fluidez, plasticidad o viscosidad), (b) pureza y (c) seguridad.

a. Consistencia

Para caracterizar a los asfaltos es necesario conocer su consistencia a distintas temperaturas, porque son materiales termoplásticos que se licúan gradualmente al calentarlos. Consistencia es el término usado para describir el grado de fluidez o plasticidad del asfalto a cualquier temperatura dada. Para poder comparar la consistencia de un cemento asfáltico con la de otro, es necesario fijar una temperatura de referencia. La clasificación de los cementos asfálticos se realiza con base al valor de la consistencia a una temperatura de referencia.

Si se expone al aire cemento asfáltico en películas delgadas y se le somete a un calentamiento prolongado, como por ejemplo durante el mezclado con el agregado, el asfalto tiende a endurecerse, a aumentar su consistencia; se permite un aumento limitado de ésta. Por lo tanto, un control no adecuado de la

temperatura y del mezclado puede provocar mayor daño al cemento asfáltico, por endurecimiento, que muchos años de servicio en el camino terminado.

Comúnmente, para especificar y medir la consistencia de un asfalto para pavimento, se usan ensayos de viscosidad o ensayos de penetración. (Para asfaltos soplados el ensayo de punto de ablandamiento).

b. Pureza

El cemento asfáltico se compone, casi enteramente, de betunes, los cuales, por definición, son solubles en bisulfuro de carbono. Los asfaltos refinados son, generalmente, más de 99,5 por ciento solubles en bisulfuro de carbono y por lo tanto casi betunes puros. Las impurezas, si las hay, son inertes.

Normalmente, el cemento asfáltico, cuando deja la refinería, está libre de agua o humedad, pero puede haber humedad en los tanques de transporte. Si hay agua inadvertida, puede causar espumas al asfalto cuando se calienta por encima de los 100°C (212°F).

c. Seguridad

La espuma puede constituir un riesgo para la seguridad, por lo tanto las normas requieren que el asfalto no forme espuma hasta temperaturas de 175°C (347°F).

El cemento asfáltico, si se somete a temperaturas suficientemente elevadas, despiden vapores que arden en presencia de una chispa o llama. La temperatura a la que esto ocurre es más elevada que la temperatura normalmente usada en las operaciones de pavimentación. Sin embargo, para tener la certeza de que existe un adecuado margen de seguridad, se debe conocer el punto de inflamación del asfalto.

Requisitos para la especificación de un cemento asfáltico
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, 100g, 5 seg	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto de inflamación copa abierta de Cleveland °C.	232		232		232		218		177	
Ductilidad a 25°C, 5cm/ min, cm.	100		100		100		100			

Solubilidad en Tricloroetileno,%	99		99		99		99		99	
Ensaye de película delgada, 3.2mm, 163°C, 5hrs.										
Pérdida por calentamiento, %		0.8		0.8		1.0		1.3		1.5
Penetración por residuo, % del original.	58		54		50		46		40	
Ductilidad del residuo a 25°C, 5cm/min, cm.			50		75		100		100	
Ensaye de la mancha con: Solvente Nafta Standard Solvente Nafta - Xilol, % Xilol Solvente Heptano – Xilol, % Xilol	Negativa para todos los grados Negativa para todos los grados Negativa para todos los grados									

1.2 Hule molido de neumáticos

El hule molido para uso de asfaltos mejorados, se obtiene del reciclado de las llantas de desecho. El reciclado de las llantas de desecho consiste básicamente en separar y pulverizar el hule, acero y fibras sintéticas que contiene la llanta.

De acuerdo a datos mundiales una llanta de desecho de automóvil tiene un peso aproximado de 9.1 kg. Con un contenido del 75% de hule, 15% de acero y 10% de fibras. Sin embargo en México, se considera llanta de desecho cuando prácticamente se ve “el aire de las llantas”. Así tenemos que el peso de una llanta de desecho en nuestro país es en promedio de 7.8 kg. y tiene un contenido de 65% de hule, 30% de metal y 10% de fibras.

El modificador de hule molido (CRM) debe ser procesado principalmente de llantas de automóviles y/o camiones de preferencia por métodos de trituración a temperatura ambiental. El modificador de hule molido debe estar substancialmente libre de contaminantes tales como fibras sintéticas, metales, minerales u otras sustancias que no sean hule. Dicho modificador debe estar lo suficientemente seco para que pueda fluir naturalmente y no produzca problemas con la espuma al ser adicionado al cemento asfáltico. Se le puede añadir hasta un 4%, por peso volumétrico, de talco o de algún otro agente bloqueador apropiado para reducir la aglomeración de las partículas de hule.

1.2.1 Procedimiento para la obtención del hule molido

Dos procesos son los principales en la obtención de hule molido del reciclado de las llantas de desecho y estos son: El **sistema mecánico**(ambiental) y el **sistema criogénico**. Con cualquiera de los dos métodos se obtiene el hule molido que es requerido para la modificación de asfaltos.

SISTEMA MECÁNICO (AMBIENTAL)

Este proceso consiste en primera instancia en realizar una limpieza general de la llanta (eliminando piedras y basura del interior). Eliminar los cinturones de acero de las llantas de camión. Posteriormente la llanta tanto de camión como de automóvil es transportada a un equipo triturador primario donde se reduce la llanta a tamaños aproximados entre 25 y 40 centímetros cuadrados, y dicha pedacería es llevada a tolvas instaladas en la entrada de los granuladores.

El granulador recibe la pedacería y la lleva a una serie de moliendas por medio de cuchillas que pulverizan el hule. Dentro de estos procesos, existen sistemas magnéticos que separan el acero y metal expulsándolo mediante un tubo vibratorio a los depósitos principales de recolección de acero. El hule pasa a una mesa vibratoria donde está instalado un sistema de vacío que elimina la fibra sintética que tiene la llanta.

Después de este paso, se transporta el hule a unas cribas que permiten seleccionar las medidas deseadas de acuerdo a las necesidades de granulometría del mercado (normalmente son cuatro), para posteriormente depositar el hule molido en silos que permitirán el pesado y empaclado.

SISTEMA CRIOGÉNICO

El sistema criogénico consiste en congelar las llantas para poder triturarlas, por lo tanto se tienen que llevar las llantas enteras a un depósito donde se hace pasar nitrógeno líquido para ser congelado el producto. Algunos productores utilizan los tres pasos usados en el sistema mecánico (limpieza, retiro de cinturones y triturado primario) para disminuir su volumen y aprovechar mejor la capacidad de la cámara de congelamiento.

Posteriormente pasa a unos molinos rompedores, pulverizando el producto, después de lo cual, ayudado por un sistema magnético, se separa el acero y metal existente, y mediante un sistema de vacío, se separa la fibra sintética que tiene la llanta. A continuación es pasado a un sistema de cribas donde se separa por tamaños, para después pasar a unos silos donde se procede al embolsado y pesado.

1.2.2 Requerimientos físicos

El modificador de hule molido, para ser utilizado en la elaboración de asfalto ahulado debe cumplir con las siguientes características físicas:

Granulometría.- La granulometría y longitud de las partículas cuando se hace la prueba de acuerdo con la Norma ASTM C 136 utilizando una muestra de 50 gramos como mínimo debe estar dentro de los siguientes límites granulométricos especificados para el modificador de hule molido:

LIMITES GRANULOMÉTRICOS PARA EL MODIFICADOR DE HULE MOLIDO (CRM)

	Porcentaje que pasa	Porcentaje que pasa
Número de la malla	Riego de liga	Mezclas asfálticas

No. 8		
No. 10		100
No. 16		75 – 100
No. 30	100	25 – 60
No. 50	60 – 100	0 – 20
No.200	0 - 20	0 – 5
Longitud máxima de la partícula	4.75 mm (3/16")	4.75 mm (3/16")

Fuente: American Society for Testing and Materials

De acuerdo con las normas de la SCT, **N.CMT.4.05.002/01**:

REQUISITOS DE GRANULOMETRÍA PARA HULE MOLIDO

Malla		Tamaño nominal		
Abertura en mm	Designación	H20 % que pasa	H 40 % que pasa	H 80 % que pasa
2	N°10	100	-----	-----
1,18	N°16	75-100	-----	-----
0,85	N°20	59-90	100	-----
0,6	N°30	25-60	75-100	100
0,425	N°40	10-40	55-90	80-100
0,3	N°50	0-20	25-60	60-100
0,15	N°100	0-10	0-30	4-70
0,075	N°200	0-5	0-10	0-20

Contenido mínimo de hule en el asfalto en masa; %	17	15	12
---	----	----	----

Contenido de Fibra.- El contenido de fibra debe estar por abajo del 0.5% del peso. El contenido de fibra puede ser determinado pesando las aglomeraciones de fibra que se forman durante el procedimiento de la prueba de granulometría. Las partículas de hule deben separarse de las aglomeraciones de fibra antes de ser pesadas.

Humedad .- Para cualquier tipo o granulometría de modificador de hule molido, el contenido de humedad debe ser inferior a 0.75% en peso.

Contaminantes Minerales.- Para cualquier tipo o granulometría de modificador de hule molido, la cantidad de contaminantes minerales no debe ser mayor del 0.25% por peso determinado después de que el agua los haya separado de una muestra de 50 gramos como mínimo de hule molido en una probeta de vidrio con un litro de agua.

Contaminantes Metálicos.- El modificador de hule molido no debe contener partículas de metal visibles cuando una muestra de 50 gramos como mínimo se hace pasar extendiéndose cuidadosamente sobre una superficie magnética.

LIGANTE DE HULE-ASFALTO.

Graduación y longitud de la partícula.- Cuando se ensaya de acuerdo con la norma ASTM C-136 utilizando una muestra de 50 gramos, la graduación de hule resultante será:

% Pasando

Tamaño del Tamiz	Tipo II Granulometría Abierta o Discontinua	Tipo III Granulometría Densa o Discontinua
No. 8	---	---
No. 10	100	100
No. 16	75-100	98-100
No. 30	25-60	70-100
No. 50	0-20	10-40
No. 200	0-5	0-5
Partículas de longitud máxima	0.95 mm	---

Fuente: American Society for Testing and Materials

Contenido de fibra.- El hule molido será grado A o grado B. Para el hule grado A, la fibra que tendrá será menos de 0.1% en peso. Para el hule grado B, la fibra que contendrá será menor de 0.5% en peso.

El porcentaje de fibra será determinado mediante el peso de los grumos según se menciona en el procedimiento de prueba. Las partículas de hule serán retiradas de los grumos antes del pesado.

Humedad.- Para cada tipo de hule y grado, la humedad será menor del 0.75% en peso.

Minerales contaminantes.- Para cada tipo de hule, el mineral contaminante en total no será mayor del 0.25% en peso determinado después de la separación del agua en 50 gramos. de una muestra de hule en un vaso de un litro lleno de agua.

Metales contaminantes.- El hule no tendrá partículas no visibles de metal determinando por agitado de una muestra de 50 gramos con un imán.

Empacado.- El hule molido de llantas será suministrado en bolsas disponibles y resistentes a la humedad, con peso de 20 ± 1 kg. hasta de 1 tonelada, las bolsas serán resistentes al estiramiento y a los rayos ultravioleta.

Clasificado (etiquetado).- Cada bolsa de hule sería clasificada con la fabricación señalando el tipo de especificación y el grado de hule de acuerdo con esta especificación (ejemplo Tipo II, Grado A), el peso nominal de la bolsa en la designación (20 a 30 kgs), y en la designación de la fabricación en la porción del número, las unidades contendrían una clasificación indicando la designación, grado de hule y tipo.

Certificación.- El fabricante dará un certificado de calidad de su producto, avalado por las pruebas que demuestran el cumplimiento de las normas. Este se deberá realizar en cada envío.

Agente anti-desprendimiento.- Si es requerido para la labor de mezclado en la fórmula a fin de producir una resistencia apropiada para el agua, un agente anti-desprendimiento que sea estable al calentarlo y aprobado para el uso, por la especificación de la agencia u organismo, sería incorporado dentro del asfalto antes del mezclado con el hule granulado.

2. Proceso de elaboración del asfalto ahulado

Se llama **asfalto ahulado** al producto que resulta de mezclar un cemento asfáltico normal (AC-20) con hule granulado obtenido de llantas usadas a una temperatura muy elevada, lo que permite que las partículas de hule granulado se expandan y reaccionen con el asfalto de tal manera que se obtiene un asfalto modificado de características superiores al asfalto normal, el cual se utiliza principalmente como liga en riegos de sello y como aglutinante en concretos asfálticos en caliente.

El hule granulado constituye un modificador de asfalto (CRM por sus siglas en inglés de Crumb Rubber Modifier) del tipo de los polímeros el cual al ser un elastómero hace de la mezcla asfalto-hule un material de alta elasticidad, capaz de sufrir grandes deformaciones y recuperar su forma original (alta resiliencia), además de obtenerse un cambio significativo en las propiedades físicas de la mezcla tales como la viscosidad, dureza y reblandecimiento, lo que es aprovechado para mejorar el comportamiento de las mezclas asfálticas elaboradas con asfalto ahulado utilizadas en la construcción, conservación y tratamientos superficiales de carpetas de concretos asfáltico e hidráulico.

La ASTM-D-8-99 define al asfalto ahulado, como “una mezcla de cemento asfáltico y hule recuperado de llantas de desecho, con algunos aditivos en donde el componente de hule es como mínimo el 15% del peso volumétrico de la mezcla hule-asfalto, que ha reaccionado con el cemento asfáltico caliente lo suficiente para lograr una dilatación e integración de las partículas de hule”. Los mejores resultados se han obtenido utilizando un mínimo de 17% de hule reciclado de neumáticos, mezclado a temperaturas entre los 175°C y 200°C para provocar la reacción. En la práctica común en Arizona, California y Texas se utiliza cuando menos el 18% de hule.

Para mostrar la elaboración del hule asfalto primero se analizarán las propiedades que se obtienen en comparación con un asfalto normal.

La tabla mostrada a continuación muestra el cambio en las propiedades físicas de un asfalto normal AC-20 comparado con el mismo asfalto modificado con el 16% de hule granulado a diferentes temperaturas, en donde se nota la mejora en las propiedades del asfalto modificado con hule.

Propiedades físicas del asfalto AC-20 y del asfalto AC-20 modificado con 16% de hule.

PROPIEDADES	AC-20	AC-20 MODIFICADO
Viscosidad absoluta 140°F (60°C) (P)	2,390	5,773
Viscosidad Brookfield (P)		
194° F (90°C)	135	1,040
211° F (100°C)	20	233
250° F (120°C)	8	185
275° F (135°C)	4	93
Viscosidad Haake (P)		
194° F (90°C)	40	350
211° F (100°C)	18	180
250° F (120°C)	6	137
275° F (135°C)	4	125
Penetración (0.1 mm)		
200g. 60 seg. 39° F (4°C)	>15	>20
100g. 5 seg., 77° F (25°C)	60-20	>30
Cono de Penetración (0.1 mm)		
200g. 60 seg. 39° F (4°C)	27	25
100g. 5 seg., 77° F (25°C)	35	38
Ductilidad (cm)		
5 cm/min., 77° F (25°C)	>100	>30
Punto de reblandecimiento (° C)	54	66
Resiliencia (% rec.)	>9	>30

FUENTE: U. S. Department of Transportation. Federal Highways Administration. "Crumb Rubber Modifier. Design Procedures and Construction Practices." (Los grados de temperatura se convirtieron de °F como aparecen en el original a °C).

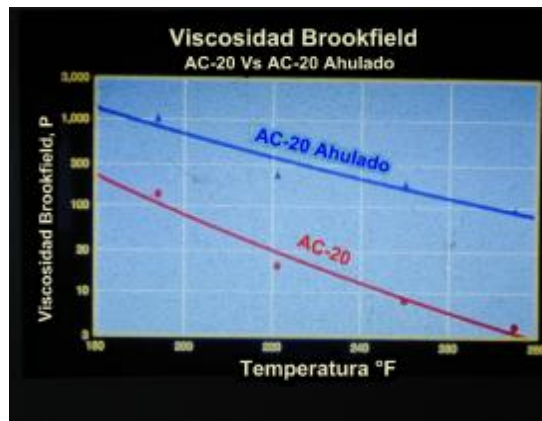
En la siguiente tabla se puede observar la influencia que tiene el contenido de hule en por ciento del peso total de la mezcla hule-asfalto en el cambio de las propiedades del cemento asfáltico. A mayor contenido de hule se incrementa la viscosidad, la resiliencia y el punto de reblandecimiento y decrece la penetración.

Efectos de hule molido en las propiedades del cemento ahulado.

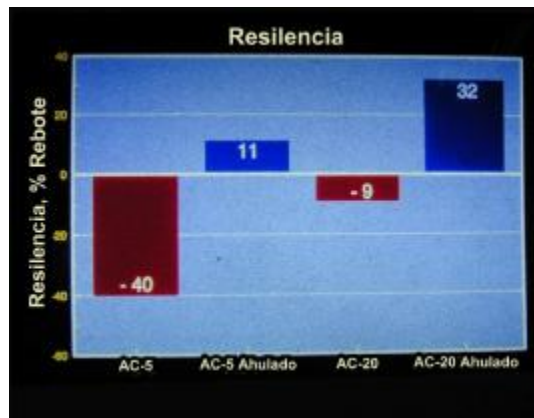
Asfalto AC-20 y hule molido con tamaño máximo de 1.18 mm y un tiempo de reacción de 90 minutos a 176°C.

PROPIEDADES	PORCIENTO DE HULE EN PESO TOTAL DE LA MEZCLA HULE-ASFALTO						
	0	6	9	12	15	18	21
Viscosidad a 350°F (CP) (176°C)	60	550	800	900	1,500	2,500	6,000
Cono de penetración a 77°F (25°C)	48	40	43	44	40	30	27
Resilencia a 77°F (25°C)	-1	-1	12	19	23	40	47
Punto de reblandecimiento, °C °F	50 122	52 126	58 136	60 140	61 142	63 146	72 162

FUENTE: U. S. Department of Transportation. Federal Highways Administration. "Crumb Rubber Modifier. Design Procedures and Construction Practices."



Efecto de la modificación con hule molido en la Viscosidad
(Esta gráfica se adiciona con fines ilustrativos por lo tanto no corresponde a la tabla anterior)



Efecto de la modificación con hule molido en la Resilencia
(Esta gráfica se adiciona con fines ilustrativos por lo tanto no corresponde a la tabla anterior)



Efecto de la modificación con hule molido en el Punto de Reblandecimiento
(Esta gráfica se adiciona con fines ilustrativos por lo tanto no corresponde a la tabla anterior)

En general, con el uso del asfalto ahulado en la conservación y construcción de pavimentos flexibles se logra una mayor vida útil, un alto nivel de servicio y un mínimo costo de mantenimiento debido a sus características, lo cual se traduce en las siguientes ventajas:

- Ø Elasticidad, que se traduce en resistencia al agrietamiento
- Ø Flexibilidad, que permite su adecuación al movimiento de la superficie
- Ø Impermeabilidad, da estabilidad a la estructura al impedir la filtración de humedad en sentidos descendente y ascendente y, además, evita la pérdida de los elementos volátiles
- Ø Cohesión y adhesividad, reduce el desmoronamiento que ocurre en el borde de las grietas
- Ø Economía, se reduce el mantenimiento y rehabilitación, al aumentar la durabilidad del tratamiento, comparado con otros pavimentos.
- Ø Se reduce notablemente la oxidación y el envejecimiento de las carpetas asfálticas debido a los antioxidantes y al negro de humo que contiene el hule molido de llanta con el que se modifica el asfalto normal.
- Ø El punto de reblandecimiento de las ligas hechas con asfalto ahulado se incrementa en un rango comprendido entre 10°C a 27°C.
- Ø En las mezclas elaboradas con asfalto ahulado se mejora considerablemente la susceptibilidad a las temperaturas bajas y altas con respecto a un asfalto normal.
- Ø Reciclado, el asfalto ahulado es completamente reciclable y eso es uno de sus mejores atributos, ya que retiene muchas de sus propiedades cementantes y se puede reusar en una mezcla.

- Ø Reducción del ruido

Asfalto ahulado y asfalto convencional



2.1 Sistema de elaboración del asfalto ahulado

El diseño del asfalto ahulado debe ser elaborado por el fabricante de dichos asfaltos. La proporción de hule molido debe estar dentro del 15% al 25% del peso volumétrico de la mezcla de hule-asfalto. La formulación deberá contener la siguiente información:

- Ø **Cemento asfáltico:**
 - Proveedor y Grado del cemento asfáltico.
 - Proveedor y Grado de los aditivos utilizados.
 - Porcentaje del cemento asfáltico y de los aditivos sobre el peso volumétrico del ligante de asfalto ahulado.
- Ø **Modificador de hule molido (CRM):**
 - Proveedor y Grado del modificador de hule molido.
 - Porcentaje del modificador de hule molido sobre el peso total del ligante de asfalto ahulado.
- Ø Si más de un proveedor del modificador de hule molido es utilizado, la información anterior deberá ser requerida a cada uno.
- Ø La gravedad específica del ligante de asfalto ahulado a 15.5°C.
- Ø El asfalto ahulado ya sea usado como liga en riegos de sello o como ligante en concretos asfálticos, debe cumplir con las propiedades físicas de la siguiente tabla, dependiendo de la dureza que se desee obtener para el asfalto modificado en función del clima en el que va a trabajar.

ESPECIFICACIONES PARA CEMENTANTE DE ASFALTO AHULADO.

TIPO DE CLIMA		CALIENTE (A)	MODERADO (B)	Frío (C)
Viscosidad Aparente, 177°C (350°F) Perno 3, 20 rpm, cP, (ASTM D 2196)*	Mín.	1,500	1,500	1,500
	MÁX.	5,000	5,000	5,000
Penetración, 25°C (77°F), 100g, 5 seg. 1/10 mm. (ASTM D 5)	MÍN.	25	25	50
	MAX.	75	75	100
Penetración, 4°C (39.2°F), 200g. 60 seg. 1/10 mm. (ASTM D5)	MÍN.	10	15	25
Punto de reblandecimiento °F (ASTM D36) °C	Mín.	135	130	125
	MÍN.	57	54	52
Resiliencia, 25°C (77°F):%: (ASTM D 3407)	MÍN.	25	20	15
Residuo TFOT, (ASTM D 1754) Penetración retenida, 4°C (39.2°F):%	MÍN.	75	75	75

- A.- Clima Caliente - Promedio mensual máximo: 43°C (110°F) o mayor.
 - Promedio mensual mínimo: 1°C (30°F) o mayor.
- B.- Clima Templado - Promedio mensual máximo: 43°C (110°F) o menor.
 - Promedio mensual mínimo: -9.44°C (15°F) o mayor.
- C.- Clima Frío - Promedio mensual máximo: 26.7°C (80°F) o menor.
 - Promedio mensual mínimo: -9.44°C (15°F) o menor.

* Se pueden utilizar los viscosímetros de lectura digital o de reloj – medición de puntos record.
 Para modelos de la serie LV utilice el perno 3 a 12 rpm.
 Para modelos de las series RV y HA use el perno 3 a 20 rpm.
 Los viscosímetros tipo Haake pueden ser sustituidos, particularmente para control en el campo.
Fuente: American Society for Testing and Materials

**DE ACUERDO A LA NORMA : N.CMT.4.05.002/01 de la Secretaría de
 Comunicaciones y Transportes**

**REQUISITOS DE CALIDAD PARA CEMENTOS ASFÁLTICOS AC-20
MODIFICADOS CON HULE MOLIDO**

CARACTERÍSTICAS	AC-20 (hule molido)
Del cemento asfáltico modificado	
Viscosidad Saybolt-Furol a 135°C; s, máximo	-----
Viscosidad rotacional Brookfiel a 135°C; Pa s, máximo	-----
Viscosidad rotacional Brookfield (tipo Haake) a 177°C; Pa s, máximo	7
Penetración: A 25°C, 100g, 5s; 10 ⁻¹ mm, mínimo	30
A 4°C, 200g, 60s; 10 ⁻¹ mm, mínimo	15
Punto de inflamación Cleveland; °C, mínimo	230
Punto de reblandecimiento; °C, mínimo	57
Separación diferencia anillo y esfera; °C, máximo	5
Recuperación elástica por torsión 25°C; %, mínimo	40
Resiliencia a 25°C; %, mínimo	30
Del residuo de la prueba de la película delgada (3,2 mm, 50g)	
Pérdida por calentamiento a 163°C; %, máximo	1
Ductilidad a 4°C y 5 cm/min; cm, mínimo	5
Penetración a 4°C, 200g, 60s; %, mínimo	10
Penetración retenida a 4°C, 200g, 60s; %, mínimo	75
Recuperación elástica en ductilómetro a 25°C; %, mínimo	55
Incremento en temperatura anillo y esfera; °C, máximo	10
Módulo reológico de corte dinámico a 76°C (G*/send);kPa, mínimo	2,2
Módulo reológico de corte dinámico a 64°C (G*/send);kPa, mínimo	-----
Ángulo fase (δ) [visco-elasticidad] a 76°C; °(grados), máximo	-----
Ángulo fase (δ) [visco-elasticidad] a 64°C; °(grados), máximo	-----

FUENTE: INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

Equipo necesario

Tanque de Calentamiento del Asfalto: Un tanque de calentamiento de asfalto con un sistema de transferencia de calor de aceite térmico o de quemadores capaz de calentar el asfalto a la temperatura necesaria para que pueda mezclarse con el hule molido (entre 190°C y 232°C). Tienen que ser tanques con capa térmica para mantener la temperatura deseada. Esta unidad deberá ser capaz de calentar un mínimo de 10,000 lts. (2,500 gal.) de cemento asfáltico.



Mezclador: El mezclador mecánico para asfalto ahulado debe tener un proceso de mezclado continuo de dos etapas capaz de producir una mezcla homogénea del cemento asfáltico con el hule molido a los porcentajes especificados. Esta unidad deberá estar equipada con un equipo alimentador de hule molido capaz de suministrar éste al sistema de alimentación del cemento asfáltico para que no se interrumpa la continuidad del proceso de mezclado. La máxima capacidad del primer tanque de mezclado debe ser de 2,000 lts. (500 gal). Tanto el mezclador primario como el secundario deben estar equipados con agitadores horizontales en el tanque de mezclado. La unidad de mezclado deberá ser capaz de mezclar totalmente las partículas de hule con el cemento asfáltico. Debe contar también con una bomba para la alimentación del asfalto y otra bomba para el producto terminado, así como también equipo para medir el volumen total y el flujo en litros o galones por minuto.



Tanque de reacción/almacenamiento: Se requiere de un tanque de reacción/almacenamiento con sistema de calentamiento capaz de mantener la temperatura de la mezcla entre 163°C y 190°C para que reaccione adecuadamente así como un sistema de bombeo y descarga. El tanque de reacción/almacenamiento deberá estar separado de los mezcladores primario y secundario de la unidad de mezclado. El tanque de reacción/almacenamiento deberá tener una capacidad máxima de 30,000 lts. (8,000 gal.). Esta unidad debe tener un sistema de mezclado interno capaz de mantener la homogeneidad en la mezcla del cemento asfáltico y el hule molido. El equipo de agitación deberá estar colocado horizontalmente en el tanque.



Sistema de abastecimiento: Consistente en un tanque equipado con una bomba y equipo de medición integrado adecuado para adicionar el asfalto ahulado al agregado por volumen en la cantidad determinada o requerida cuando se elaboran concretos asfálticos en plantas de concreto asfáltico tanto de bacha como continuas.

Medición de temperatura: Un termómetro de rango adecuado y facilidad para leer la temperatura, protegido adecuadamente deberá ser fijado en la línea de alimentación del asfalto ahulado en un lugar adecuado cerca de la unidad de mezclado.

PROCEDIMIENTO PARA EL MEZCLADO Y LA REACCIÓN DEL ASFALTO CON EL HULE

1.- Temperatura del cemento asfáltico: La temperatura del cemento asfáltico debe estar entre 190°C y 232°C en el momento en que se le adicione el hule molido.

2.- Mezclado y Reacción: El cemento asfáltico debe ser combinado y mezclado entre sí en una unidad mezcladora, bombeado a un tanque de reacción/almacenamiento con equipo para agitación y permitir que reaccione cuando menos 30 minutos a partir del momento en que el hule molido es adicionado al asfalto.



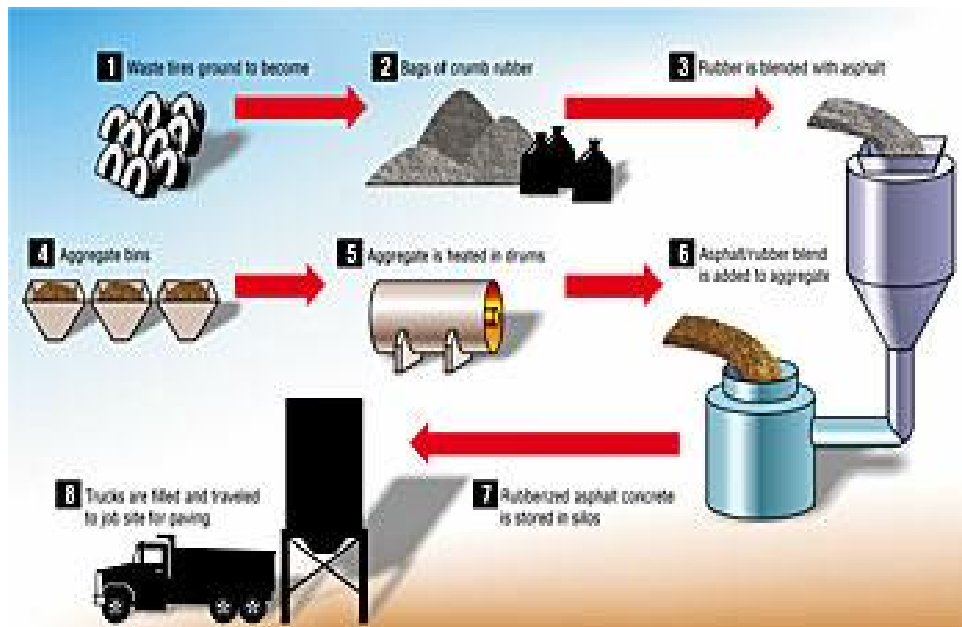
La cantidad de hule molido que se adicione debe ser determinada del porcentaje por peso volumétrico. La temperatura de la mezcla de asfalto ahulado debe ser mantenida a no menos de 163°C durante el período de reacción. Después de que hubiera reaccionado, se puede permitir que el asfalto ahulado descienda a una temperatura de entre 150°C y 177°C por un período específico.



3.- Transferencia: Después de que la mezcla haya reaccionado por lo menos 30 minutos, el asfalto ahulado debe ser bombeado a las petrolizadoras, tanques de almacenamiento o plantas de asfalto y medido, en este último caso, dentro de la cámara mezcladora de la planta de producción del concreto asfáltico al porcentaje requerido en el diseño.

4.- Retrasos: Cuando algún retraso ocurre después de haberse concluido plenamente la reacción del asfalto ahulado, se debe permitir enfriarlo. Debe ser recalentado de forma lenta justo antes de utilizarlo, a una temperatura entre 163°C y 177°C y deberá también ser completamente mezclado antes de ser bombeado y medido a la planta de concreto asfáltico. La viscosidad del asfalto ahulado debe ser revisada. Si la viscosidad no se encuentra en los rangos que se señalan en la tabla de especificaciones para cementante de asfalto ahulado, entonces deberá ser ajustado con la adición de cemento asfáltico o hule molido hasta que sea repuesta la viscosidad requerida.

Proceso de elaboración del asfalto ahulado



2.2 Especificaciones

Las especificaciones que se tienen en México para el asfalto ahulado es la norma N.CMT.4.05.002/01 de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes que publica el Instituto Mexicano de Transportes.

Dicha norma contiene las características de calidad requeridas para los modificadores de asfalto que se utilizan en la elaboración de carpetas y mezclas asfálticas.

3. Aplicaciones del asfalto ahulado en pavimentos

Los usos más comunes del asfalto ahulado son los siguientes:

1. Relleno de grietas y sellado de juntas.



2. Riego de Sello. Al utilizarse asfalto ahulado como liga en un riego de sello además de que se obtiene una superficie totalmente impermeable se crea una membrana (SAM por sus siglas en inglés de Stress Absorbing Membrana).



3. Refuerzo de Pavimentos. Una membrana intermedia de absorción de esfuerzos llamada SAMI (por las siglas en inglés de Stress Absorbing Membrane Interlayer).



4. Concreto con asfalto ahulado. De granulometría abierta (Open Graded), media (Gap Graded) o cerrada (Dense Graded) según su diseño.



3.1 Riego de sello

Es un tratamiento superficial de asfalto ahulado que se aplica por aspersion sobre las superficies del pavimento a razón de 2.3 a 3.2 litros por metro cuadrado y luego se cubre con agregado pétreo limpio de tamaño uniforme de 3/8" (3A) y 1/2". La aplicación de asfalto ahulado se ajusta de acuerdo a las características del pavimento existente y se selecciona el tamaño del agregado de acuerdo al espesor de la membrana.

Este riego sirve para impermeabilizar la carpeta y protegerla del desgaste. Este sistema proporciona una superficie duradera a prueba de agrietamiento y se flexiona para adecuarse a los movimientos de la superficie del pavimento existente. Mejora y alarga el nivel de servicio de los pavimentos de concreto asfáltico deteriorados, principalmente del agrietado tipo cocodrilo y por bloques. La vida del pavimento se prolonga varias veces debido a la disminución de la cantidad de agua que entra en la base, subbase y subrasante, ya que proporciona una membrana a prueba de agua, para obtener una estabilidad máxima de la estructura; a la reducción de la oxidación de la superficie existente, al sellado de la superficie existente y a la reducción de desmoronamiento alrededor de las grietas.

El residuo asfáltico existente de los sellos con asfalto ahulado es 3 veces mayor a los construidos con emulsiones asfálticas.

Al utilizarse asfalto ahulado como liga en un riego de sello aparte de obtenerse una superficie totalmente impermeable se crea una membrana (SAM por sus siglas en inglés de Stress Absorbing Membrane) capaz de absorber los esfuerzos transmitidos por fricción entre las llantas de los vehículos y la superficie de rodamiento.



El agregado pétreo deberá ser de roca limpia, libre de polvo y otros materiales contaminantes, resistente a la disgregación y a la abrasión, de acuerdo a los siguientes requerimientos físicos y de granulometría:

Norma: N-CMT-4-04/03 Materiales pétreos para mezclas asfálticas

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

Malla		Designación de material pétreo
Abertura mm	Designación	
		3/8" (3-A)
		Porcentaje que pasa
12,5	1/2"	100
9,5	3/8"	95 min
6,3	1/4"	-----
4,75	N°4	-----
2	N°10	5 máx.
0,425	N°40	0

Características	Valor
Desgaste de los Ángeles, 500rpm; % máximo	30
Partículas alargadas y lajeadas; % máximo	35
Intemperismo acelerado; % máximo	12
Desprendimiento por fricción; % máximo	25
Cubrimiento con asfalto (Método Inglés); % mínimo	90

Otras características que no se encuentran en las normas pero que deben ser tomadas en cuenta son las siguientes:

Características	Valor
Peso volumétrico; kg/m ³ mínimo	1,100
Afinidad tonel asfalto; % mínimo	95
Partículas de arcilla y/o disgregables; % máximo	0.5
Material orgánico o degradable	Libre
Forma de las partículas	Las partículas del material deberán tener el 75% mínimo de caras planas y no deberá contener mas del 8%, en peso, de partículas alargadas y/o en forma de laja.

EL agregado pétreo deberá ser premezclado en planta de asfalto con un 0.5% ($\pm 0.25\%$) de cemento AC-20 sobre el peso del agregado seco, deberá tener una apariencia de "sal y pimienta" y deberá tener una temperatura de entre 121°C Y 162°C en el momento de hacerse el tendido de dicho material en el tramo.

USOS RECOMENDADOS

Existe una amplia variedad de situaciones en donde los sellos construidos con asfalto ahulado proporcionan alternativas altamente ventajosas sobre las estrategias, métodos y/o materiales convencionales existentes. La siguiente lista enunciativa identifica algunos de los usos apropiados para este tipo de sellos:

A.- Para rehabilitación y/o mantenimiento:

- 1.- Sobre carpetas con agrietamientos por fatiga.
- 2.- Sobre carpetas con agrietamientos por envejecimiento o por oxidación.
- 3.- Sobre carpetas con agrietamientos lineales.
- 4.- Tratamiento superficial para carreteras con bajo volumen de tránsito.
- 5.- Como tratamiento a corto plazo para extender la vida de pavimentos muy trabajados (casos reticulares), que requieren reconstrucción.

6.- Tratamiento de mantenimiento preventivo de rutina para extender la vida útil del pavimento, protegiéndolo de los factores de endurecimiento por intemperismo.

7.- Para mejorar las características de fricción, ya que es más resistente al deslizamiento.

B.- Para construcción nueva o reconstrucción:

1.- Para proteger los pavimentos nuevos o reconstruidos de los efectos de la humedad retardando la oxidación y el envejecimiento.

2.- Como una membrana impermeable sobre suelos expansivos.

3.- Como una membrana impermeable para recubrimiento de bordos, presas, camas de lodo, drenajes, etc.

4.- Para impedir que se desarrolle la reflexión de grietas en las bases estabilizadas.

Se debe notar que los sellos construidos con asfalto ahulado no corrigen las deformaciones de la superficie de rodamiento existente porque son capas delgadas que siguen el perfil original, sin embargo, pueden retardarse estas deformaciones ya que al evitarse la penetración de agua por la superficie se conserva la capacidad estructural del pavimento existente.

3.2 Membrana intermedia para absorber esfuerzos

Una membrana intermedia de absorción de esfuerzos llamada SAMI (por las siglas en inglés de Stress Absorbing Membrane Interlayer), está formada por dos capas, la primera es un riego de sello SAM sobre el pavimento existente y la segunda, construida sobre el SAM, es una carpeta de concreto asfáltico convencional ó concreto asfáltico ahulado con lo cual se consigue en comparación con una sobrecarpeta normal una mayor capacidad estructural del pavimento con espesores menores, un mínimo de reflexión de los agrietamientos y un pavimento totalmente impermeable.

Muchos pavimentos que requieren rehabilitación debido al agrietamiento excesivo y extensivo también requieren mejorar su estructura y/o el nivel de servicio. Un riego de sello con asfalto ahulado (SAM) colocado como una entrecarpeta es mucho más efectiva que la sola construcción de una carpeta superficial para reducir la reflexión de grietas.

Este sistema extiende la vida de servicio de las sobrecarpetas retardando significativamente la reflexión de las grietas y protegen contra el agua el pavimento que esta debajo de ellas y retrasa significativamente su endurecimiento por envejecimiento. Reduce también significativamente los

esfuerzos de tensión transmitidos a las capas superiores y el ruido de las llantas.



USOS RECOMENDADOS

Puede usarse en los casos donde es necesario mejorar el confort del manejo o la capacidad estructural construyendo una sobrecarpeta. 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 que este método mejora significativamente la resistencia a la reflexión de grietas puede reducirse por lo general el espesor de la sobrecarpeta de concreto asfáltico.

El uso de una SAMI también reduce los trabajos de preparación de la superficie existente, particularmente el sellado de las grietas requerido antes de colocar la sobrecarpeta. Estos factores reducen el costo de la reparación, además de prolongar la vida útil de la obra.

3.3 Carpetas asfálticas de graduación abierta

Es una mezcla en caliente, uniforme, homogénea y con un alto porcentaje de vacíos, fabricada con asfalto ahulado y materiales pétreos de granulometría uniforme, con tamaño nominal entre 12,5 mm (1/2 in) y 6,3 mm (1/4 in).

Las carpetas de graduación abierta con cemento asfáltico no modificado normalmente se utilizan para formar capas de rodadura, no tienen función estructural y generalmente se construyen sobre una carpeta de granulometría densa, con la finalidad principal de satisfacer los requerimientos de calidad de rodamiento de tránsito, al permitir que el agua de lluvia sea desplazada por las llantas de los vehículos, ocupando los vacíos de la carpeta, con lo que se incrementa la fricción de las llantas con la superficie de rodadura, se minimiza

el efecto hidropelante, se reduce la cantidad de agua que se impulsa sobre los vehículos adyacentes y se mejora la visibilidad del señalamiento horizontal.

El sistema de carpeta asfáltica ahulada de graduación abierta suministra una carpeta de fricción más durable a la reflexión de grietas, a la oxidación, al desnudamiento y al desgaste en cadena, resuelve muchos de los problemas de durabilidad asociados con los concretos asfálticos convencionales de graduación abierta. Permite el uso de mayores contenidos de cementante y por lo tanto, de películas más gruesas sin drenado excesivo. Se reduce significativamente los niveles de ruido. Aumenta la seguridad reduciendo el salpicado por otros vehículos aumentando la visibilidad y reduciendo el efecto de hidropelante al impedir la acumulación de agua en la superficie de rodamiento.

El diseño del concreto asfáltico en México se hace básicamente con el método convencional Marshall, del cual se obtiene un mayor contenido óptimo de asfalto ahulado con respecto a un asfalto normal, por lo que se requiere de una adecuación en la granulometría del concreto asfáltico ya que las partículas de hule contenidas en el asfalto ahulado pueden interferir con las partículas finas del concreto asfáltico y se puede tener un fenómeno de esponjamiento.

Este tipo de carpetas no deben colocarse en zonas susceptibles al congelamiento ni donde la precipitación sea menor de 600 milímetros por año.

La granulometría y características físicas recomendadas para la elaboración de concreto asfáltico ahulado con granulometría abierta (open graded) es básicamente agregado grueso con muy poco o nulo contenido de finos y por lo tanto con vacíos y se muestra en la tabla siguiente:

**Norma: N-CMT-4-04/03 Materiales pétreos para mezclas asfálticas
Requisitos granulométricos del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría abierta.**

Malla		Porcentaje que pasa	
Abertura mm	Designación	Para espesores ≤ 4 cm	Para espesores > 4 cm
25	1"	-----	100
19	¾"	100	62 – 100
12,5	½"	65 – 100	45 – 70
9,5	3/8"	48 – 72	33 – 58
6,3	¼"	30 – 52	22 – 43
4,75	Nº4	18 – 38	14 – 33
2	Nº10	5 – 19	5 – 19
0,075	Nº200	2 – 4	2 – 4

Requisitos de calidad de material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría abierta.

Características⁽¹⁾	Valor
Densidad relativa, mínimo	2,4
Desgaste Los Ángeles; % máximo	30
Partículas alargadas y lajadas; % máximo	25
Equivalente de arena; % mínimo	50
Pérdida de estabilidad por inmersión en agua; % máximo	25

(1) El material debe ser 100% producto de trituración de roca sana

Otras características que no se encuentran en las normas pero que deben ser tomadas en cuenta son las siguientes:

Características	Valor
Intemperismo acelerado; % máximo	12
Afinidad con el asfalto; % mínimo	95
Peso volumétrico; kg/cm ³ mínimo	1,100
Partículas de arcilla y/o disgregables; % máximo	0.5
Material orgánico o degradable	Libre
Forma de las partículas	Las partículas del material deberán tener el 75% mínimo de caras planas y no deberán contener más del 8%, en peso de partículas alargadas y/o en forma de laja.

La utilización del asfalto ahulado como cementante para las carpetas de fricción de granulometría abierta (OGFC) resuelve muchos de los problemas de durabilidad asociados con los concretos asfálticos convencionales de granulometría abierta. El uso del asfalto ahulado en las OGFC's permite un contenido mayor del cementante y por lo tanto de películas de mayor espesor, con mejor adherencia, flexibilidad, (debido a la alta viscosidad del asfalto ahulado) y con un drenaje adecuado.

Se obtiene también mayor durabilidad debido a la mejor resistencia a la oxidación del asfalto ahulado combinado con las películas más gruesas de cementante, ya que los antioxidantes y el negro de humo que contiene el hule de las llantas retrasan el envejecimiento del material del asfalto ahulado.

El asfalto ahulado es más flexible a temperaturas bajas y más rígido a temperaturas altas que el cemento asfáltico base. Estas características, combinadas con el mayor espesor de la película dan por resultado una mezcla que es altamente resistente al agrietamiento reflectivo y térmico. La combinación de este cementante más rígido a altas temperaturas del pavimento, con los agregados pétreos típicos de una OGFC dan por resultado una mezcla que es altamente resistente a las deformaciones permanentes (roderas).



USOS RECOMENDADOS

Los concretos de asfalto ahulado de granulometría abierta son altamente resistentes a la reflexión de grietas y a las variaciones térmicas por lo que se recomienda en climas moderados colocar sobrecarpetas de granulometría abierta delgadas (Aprox. 3 cm.) directamente sobre pavimentos con agrietamiento, habiendo ya sido probada su efectividad en resistir la reflexión de dichas grietas, debido a que el alto contenido de cementante proporciona una mayor flexibilidad y resiliencia para resistir deformaciones permanentes así como también reduce los problemas de agrietamiento lineal y de envejecimiento.

Es conveniente considerar la construcción de un sello con asfalto ahulado (SAM) cuando se va a colocar una sobrecarpeta de granulometría abierta sobre pavimentos susceptibles a la humedad superficial.

En áreas con elevados índices de accidentes en zonas climáticas con alta precipitación pluvial los pavimentos de granulometría abierta pueden abatir dichos índices debido a que la naturaleza porosa de estos concretos no permite la acumulación del agua sobre la superficie, reduciendo el encharcamiento, el efecto hidropiano y el deslumbramiento por las noches ya que se mejoran tanto la visibilidad como las características de fricción.

Donde el ruido provocado por el tránsito es un problema, las carpetas delgadas de concreto con asfalto ahulado reducen significativamente el ruido a costos económicos factibles. De acuerdo con documentos de estudios realizados se pueden alcanzar reducciones de entre el 50 y 80% del ruido fácilmente.

3.4 Carpetas asfálticas de graduación discontinua

GAP GRADED.

Es un concreto asfáltico ahulado con agregados pétreos mucho más limpios y solo el 20% pasan la malla No. 8 y un máximo del 7% pasan 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 grueso forma un esqueleto estructural (matriz) con vacíos de hasta un 19%, lo que permite alojar una mayor cantidad de

cementante de asfalto ahulado en el concreto. La mezcla resultante es muy densa y estable por el contenido mayor del asfalto ahulado y además se obtiene una carpeta completamente sellada con lo que se impide que la humedad penetre a las capas inferiores.

Suministra un pavimento de concreto asfáltico más durable y flexible, con mayor resistencia a la reflexión de las grietas, de surcos y a la oxidación, se obtiene una reducción importante en el ruido que produce el rodamiento del tráfico y proporciona un excelente soporte estructural.



El diseño del concreto asfáltico en México se hace básicamente con el método convencional Marshall, del cual se obtiene un mayor contenido óptimo de asfalto ahulado con respecto a un asfalto normal, por lo que se requiere de una adecuación en la granulometría del concreto asfáltico ya que las partículas de hule contenidas en el asfalto ahulado pueden interferir con las partículas finas del concreto asfáltico y se puede tener un fenómeno de esponjamiento.

La granulometría y características físicas recomendadas para la elaboración de concreto asfáltico ahulado con granulometría discontinua (gap graded) se muestra en la tabla siguiente:

Granulometría para una mezcla de concreto asfáltico de estructura discontinua (gap-graded)

Número de malla	Por ciento que pasa		
	3/8"	1/2"	3/4"
1"	100	100	100
3/4"	100	100	90 - 100
1/2"	100	90 - 100	65 - 85
3/8"	78 - 92	70 - 90	50 - 70
No. 4	28 - 42	24 - 42	22 - 42
No. 8	15 - 25	15 - 25	15 - 25
No. 30	5 - 15	5 - 15	5 - 15
No. 200	3 - 7	3 - 7	3 - 7

Prueba de los Ángeles; % abrasión	30
-----------------------------------	----

máxima a 500 rpm	
Intemperismo acelerado; %, máximo	12
Peso volumétrico; kg/m ³ , mínimo	1,100
Afinidad con el asfalto; %, mínimo	95
Partículas de arcilla y/o disgregables; %, máximo	1
Material orgánico o degradable	Libre
Forma de las partículas	Las partículas del material deberán tener el 75% mínimo de caras planas y no deberá contener más del 8%, en peso, de las partículas alargadas y/o en forma de laja

La cantidad óptima de asfalto ahulado que se debe adicionar al agregado pétreo debe estar entre el 6.7% y el 8.7% del peso seco del agregado. La temperatura del agregado pétreo al momento de que se adicione el asfalto ahulado no deberá exceder los 177°C.

El tráfico no deberá ser permitido sobre la carpeta asfáltica hasta cuando menos una hora después de que hayan finalizado las operaciones de compactación.

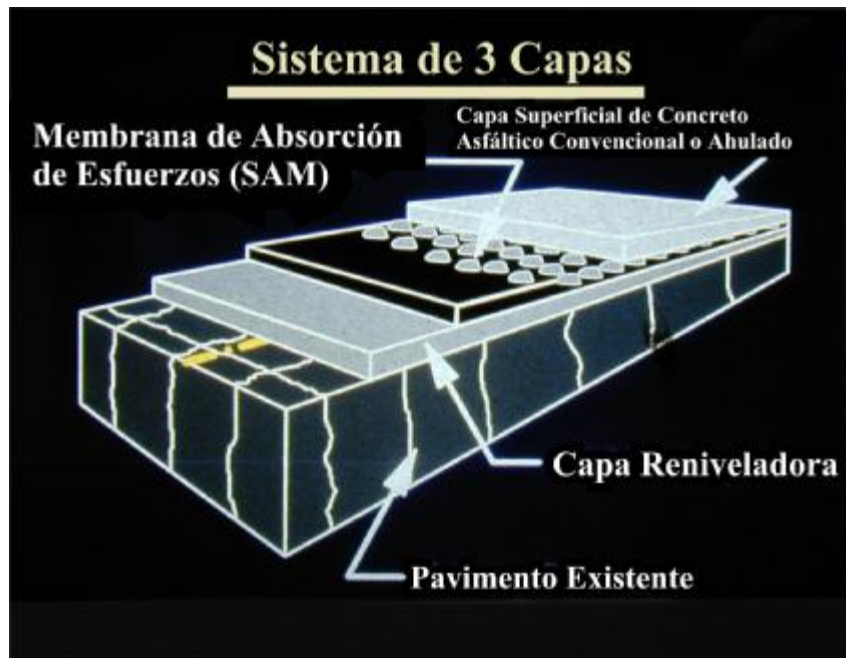
No se debe utilizar la mezcla hule-asfalto si tiene más de 48 horas de haber sido fabricada.

USOS RECOMENDADOS

Cuando se desea o se necesita prolongar la vida útil de los pavimentos existentes o como una carpeta de fricción para un pavimento nuevo, estas carpetas de concreto asfáltico ahulado de granulometría discontinua son altamente recomendables, ya que como se menciona anteriormente, son muy resistentes a la reflexión de grietas y a la formación de roderas, reducen el ruido del roce de las llantas, mejoran el confort en el manejo y las características de fricción. También se recomiendan cuando se desea reducir los espesores requeridos del pavimento.

3.5 Sistemas de tres capas

Un sistema de tres capas es cuando se construye una carpeta reniveladora de concreto asfáltico ahulado (ARC) sobre la cual se construye una membrana intermedia para absorber esfuerzos (SAMI), es decir un riego de sello sobre el cual, a su vez, se construye otra carpeta de concreto asfáltico ahulado de granulometría abierta o de concreto asfáltico convencional.



Este sistema proporciona un medio para restaurar la calidad del manejo y suavidad de pavimentos de concreto asfáltico deteriorados, como una alternativa al fresado, al ranurado, a sobrecarpetas de gran espesor o a la reconstrucción. Mejora la capacidad estructural de pavimentos de concreto asfáltico fatigados, agrietados, que tienen fallas o roderas y para extender la vida útil proporcionando una superficie durable sin necesidad de una reconstrucción.

Los sistemas de tres capas de concreto asfáltico ahulado han proporcionado un medio efectivo de rehabilitar pavimentos deteriorados de concreto asfáltico a un costo 50% inferior del que se tendría para una reconstrucción con fresado o ranurado. Las características de absorción de esfuerzos de las capas de asfalto en forma de sandwich reduce al mínimo la reflexión de grietas a través de su sistema. Como beneficio adicional, la reducción del ruido es muy importante, particularmente en áreas urbanas y residenciales.

USOS RECOMENDADOS

Pueden incluirse en el sistema de tres capas un cierto número de combinaciones de tipos de asfalto ahulado y/o pavimentos de concreto de asfalto ahulado, es decir, de granulometría densa, intermedia y abierta. La siguiente tabla presenta las combinaciones primarias recomendadas para consideraciones de diseño, tomando en cuenta que para la carpeta superficial es conveniente el uso del asfalto ahulado para optimizar el comportamiento y la vida de servicio de este sistema, debido a la mayor resistencia al agrietamiento.

CAPA	COMBINACION # 1	COMBINACION # 2	COMBINACION # 3
RENIVELADORA	ARHM-GG	DG-AC	ARHM-DG
INTERMEDIA	SAM	SAM	SAM
SUPERFICIAL	ARHM-OG	ARHM-OG	ARHM-GG

NOTAS:

- 1.- SAM.- Membrana de absorción de esfuerzos.
- 2.- ARHM-OG.- Concreto asfáltico ahulado de granulometría abierta.

- 3.- ARHM-GG.- Concreto asfáltico ahulado de granulometría intermedia.
- 4.- ARHM-DG.- Concreto asfáltico ahulado de granulometría densa.
- 5.- DG-AC.- Concreto asfáltico convencional de granulometría densa.

La selección de la granulometría del concreto asfáltico de la superficie depende mucho de la composición del tráfico supuesto y de las condiciones del pavimento existente. Todos los concretos de asfalto ahulado diseñados apropiadamente son altamente resistentes a las deformaciones permanentes y reducen el ruido. Los concretos con asfalto ahulado de granulometría abierta pueden suministrar un comportamiento superior y mayor seguridad en muchos casos, pero se requiere un drenaje adecuado. Los concretos de granulometría intermedia, son relativamente impermeables y pueden suministrar una mayor estabilidad sin sacrificar resistencia con un mejor comportamiento a la reflexión de grietas y a las variaciones térmicas.

4. Procedimientos constructivos

SELLOS CON ASFALTO AHULADO.

Adicionalmente al equipo para la elaboración del asfalto ahulado descrito anteriormente, se requiere el siguiente equipo mínimo indispensable para la ejecución del riego de sello con liga de asfalto ahulado:

Esparcidor de cemento ahulado (Petrolizadora)

Esparcidor de cemento ahulado tipo petrolizadora autopropulsado equipado con tanque de calentamiento con sistema de agitadores capaz de mantener una mezcla uniforme de asfalto modificado con hule con capacidad mínima de 16,000 lts., barra esparcidora de reciclado completo y sistema de bombeo capaz de aplicar asfalto ahulado con viscosidades entre 1,500-5,000 centipascales y con tolerancia en la aplicación de $\pm 0.23 \text{ lt/m}^2$ de la dosificación especificada debiendo cubrir uniformemente la superficie a tratar.

La barra esparcidora deberá contar con un sistema de espreas capaz de hacer el riego en varios anchos hasta 4 mts, extensiones con reciclado de flujo, y deberá posicionarse en varias alturas.



Las boquillas de las espreas deberán aplicar un riego uniforme y sin discontinuidades de liga de asfalto ahulado en la superficie tratada, y serán operadas por un control interno de válvulas de acción directa que permita rápidamente abrirlas o cerrarlas.

La petrolizadora también debe contar con dispositivos y gráficas que permitan una exacta y rápida determinación y control de la cantidad de liga de asfalto ahulado aplicado:

- (1) Un asfaltómetro que registre el recorrido unitario en metros por minuto y la distancia total en metros;
- (2) Una bomba para circulación del asfalto ahulado entre la barra esparcidora y el tanque.
- (3) Un indicador de presión, bomba, tacómetro u otro dispositivo aprobado para controlar el tipo de aplicación del asfalto ahulado.
- (4) Un indicador u otro medio aprobado que determine con precisión la cantidad de asfalto ahulado en el tanque.

La petrolizadora deberá tener un estribo detrás de la barra esparcidora que permita que un hombre vaya en una posición tal que le permita una vista completa de todas las espreas y un rápido acceso para destapar cualquier esprea que pudiera taparse.

La petrolizadora y los tanques auxiliares deben mantenerse sin ningún goteo de asfalto ahulado.



Esparcidor de sello

El esparcidor de sello debe ser una máquina autopropulsada y computarizada con una tolva receptora de agregado en la parte posterior, bandas transportadoras que lleven al agregado hacia la parte frontal y una tolva esparcidora equipada con una barra con aspa sinfín que distribuya el sello uniformemente en todo el ancho.

El esparcidor deberá estar en buenas condiciones mecánicas y debe ser capaz de aplicar la capa de sello de manera uniforme durante la colocación del pétreo a la dosificación especificada.



Compactadores neumáticos

Cuando se ha aplicado la capa de agregado, se utilizan un mínimo de tres compactadores neumáticos con peso de 14 toneladas métricas o más, debido a que sólo con este número de equipos se puede cubrir en una pasada el tendido del sello,

Los compactadores neumáticos deben ser autopropulsados y deben tener no menos de siete (7) llantas de huella lisa girando en dos ejes y con capacidad de ser lastrados con el peso requerido.

El contratista deberá proveer la cantidad suficiente de compactadores neumáticos para cubrir el ancho total de la superficie tratada en una pasada.

La presión promedio de cada compactador neumático no debe ser menor a 70 kg/cm².



Equipo de Transporte

Los camiones para transportar el material pétreo deben tener una tapa de descarga y deben estar equipados con un dispositivo de cierre que se enganche al esparcidor de sello.

Los camiones de carga deben estar adaptados de tal manera que al estar vaciando en marcha el material pétreo al esparcidor de sello no se tire el material fuera de la tolva del esparcidor.



Barredoras

Barredoras autopropulsadas para limpiar el pavimento de polvo, materiales removibles que haya en la superficie y exceso de material pétreo.



Antes de la colocación de la capa de sello sobre asfalto-hule caliente, polvo y en otros materiales serán removidos de la superficie de pavimento.

La proporción de aplicación de la mezcla caliente de asfalto ahulado será 2.1 a 3.6 litros por metro cuadrado. El asfalto ahulado caliente será aplicado de 177°C a 232°C por medio de la petrolizadota para el acomodo inicial debiendo cubrir toda la anchura de la aplicación del agregado con una pasada. La primera pasada será hecha inmediatamente detrás del agregado mediante el extendedor. Si la aplicación es cubierta para un solo periodo del extendido, el distribuidor será retirado tanto que todo el agregado cubierto puede ser inmediatamente rodado. Tres pasadas completas con tres compactadores neumáticos, serán hechas con todo el equipo completamente en rodamiento dentro de una hora después de la aplicación.

Terminando el procedimiento anterior, se procede a pasar las barredoras para eliminar el exceso de agregado y dejar limpia la superficie.

El tránsito puede ser permitido en la superficie cubierta después de la compactación con las siguientes restricciones (limitaciones).

La velocidad no excederá a 40 Km/hr.

Deberá estar arenado con 1 a 3 kgs de arena por metro cuadrado.

La arena será aplicada en la intersección y por 50 metros a cada lado del camino después del rodamiento y antes de cubrir el camino.

CARPETAS DE CONCRETO ASFÁLTICO AHULADO.

EQUIPO

El equipo básico para la fabricación del concreto asfáltico con asfalto ahulado y para su tendido es el mismo que para la fabricación y tendido de un concreto asfáltico normal, con los siguientes requerimientos adicionales:

Planta de concreto asfáltico

Esta puede ser de bacha o de producción continua y debe cumplir con todo lo necesario para la elaboración de concretos asfálticos tradicionales.

Planta de Bachas

La mezcla elaborada en planta de bachas consiste del almacenamiento de agregado frío y sistema de alimentación al secador, unidad de control de graduación, recipientes de almacenaje para el agregado caliente, peso del agregado y una unidad de mezclado de agregado seco. También la planta será equipada con un mezclador en caliente y almacenar en silos un periodo corto la mezcla, hasta su utilización.

Planta de tambor-mezclador, de producción continua

El tambor-secador de la mezcla en planta consiste de un almacenamiento de agregado frío y de alimentación, un sistema de peso automático, mezcla seca en tambor y mezcla en caliente que se almacena en silos para un periodo corto de almacenaje de la mezcla hasta la utilización.

El equipo de mezclado del agregado y del hule-asfalto tendrá la capacidad de producir la mezcla para la pavimentación, con todos los requerimientos especificados. Específicamente la planta suministrará agregado apropiado en graduación, con el contenido de hule-asfalto y la temperatura de la mezcla.

Adicionalmente el proveedor del asfalto ahulado debe proporcionar un Sistema de Abastecimiento consistente en un tanque de almacenamiento con proceso de mezclado y calentamiento que permita mantener la homogeneidad y la temperatura necesarias, además de contar con un equipo de bombeo con suficiente capacidad para las altas viscosidades del asfalto ahulado, así como

medidores de flujo que regulen con precisión la cantidad de asfalto ahulado que se adicione al material pétreo.

Equipo de tendido

El pavimento será colocado con esparcidor auto-propulsado con extensión mecánica y equipo de compactación neumática del tipo de tracción teniendo una barra de apisonamiento lisa con un dispositivo vibratorio o un ensamble capaz de hacer la distribución del material por lo menos en el ancho de un carril de circulación y para la profundidad necesaria en un mínimo del espesor compactado o en un grado final si es requerido. La extendedora podrá tener ensambles laterales, siendo equipada con una unidad de calentamiento que mantendrá la temperatura necesaria a fin de prevenir el desgranamiento de la mezcla durante esta operación. Cuando los pavimentos se acanalen o aparezcan marcas en la superficie que no puedan ser eliminadas por la compactación, se deberá hacer un ajuste en la operación del equipo utilizado.

Equipo de transporte

Los camiones para el acarreo de la mezcla asfáltica deben ser del tipo de fondo y congruente con el equipo para tendido. Si se excede la alimentación, la plancha no compactará lo suficiente, e inclusive podrá provocar el derrame del material. Los camiones serán equipados con una lona o similar tanto para prevenir una pérdida rápida de temperatura en la mezcla caliente en tiempo frío o como resultado de largas distancias de acarreo.

Equipo de compactación

Rodillos autopropulsados, de 2 ejes (tandem) en el tipo de rueda de acero y teniendo un mínimo de 8 toneladas de peso. Para las mezclas de textura de graduación abierta en la superficie, el rodillo deberá tener un peso máximo de 10 toneladas y para las densas e intermedias, con un rodillo con un peso máximo de 12 toneladas. Todos los rodillos serán equipados con lastre y un sistema de riego para prevenir que se pegue la mezcla del pavimento en la rueda de acero. Los rodillos vibratorios serán utilizados únicamente en mezclas densas y de grado discontinuo. Excepto si es permitido en forma diferente por el ingeniero. El contratista proporcionará un mínimo de 2 rodillos de los descritos arriba. Los rodillos de neumáticos no serán utilizados por incrementar el in-adhesivo del hule-asfalto en la rueda.

Equipo para la aplicación de la liga

La liga será aplicada utilizando un distribuidor “petrolizadora”, si es necesario con barra de extensión.

PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN.

General.- Los baches y otras áreas del pavimento falladas, así como las depresiones en la superficie del pavimento existente serán reparadas con concreto asfáltico.

Las grietas grandes con ancho mayor de 5 mm. serán reparadas mediante limpieza y el relleno con un apropiado sellante.

Inmediatamente antes de la aplicación del riego de liga la superficie será limpiada con una barredora.

Riego de Liga.

ANOTACIONES DE LA PRODUCCIÓN DE HULE-ASFALTO

Al suministrar el hule-asfalto se mantendrán las anotaciones indicadas por cada lote de hule-asfalto producido anotando la cantidad del cemento asfáltico en litro o kilogramos, la temperatura del cemento asfáltico, la adición del anti-desprendimiento u otros aditivos si son utilizados en litros y la cantidad de hule granulado en kilogramos. Esta información será suministrada por el ingeniero en unos reportes diarios.

PREPARACIÓN DE LA MEZCLA DE HULE-ASFALTO Y MEZCLADO CON EL AGREGADO

La mezcla de hule-asfalto se hará a una temperatura de 163°C a 190°C, bombeando y midiéndola dentro de la planta de mezclado.

El agregado será secado y calentado a fin de suministrar una mezcla después de la elaboración a una temperatura de 150°C a 175°C y una humedad no mayor de 1.0 % en peso de la mezcla.

La operación de mezclado será suficiente para realizar una mezcla satisfactoria con un mínimo de 95% de partículas cubiertas determinadas por AASHTO T-195 o ASTM D-2489.

Si la mezcla se descarga del mezclador dentro de un silo para ser almacenado, éste será operado de manera que la segregación de la mezcla sea minimizada.

La mezcla debe salir a una temperatura entre 175°C y 185°C para poderse tender.

ACARREOS DE MEZCLA ASFÁLTICA

Las cajas de los camiones estarán exentas de materiales como suciedad, lodo y agregados. Anterior a la carga de la primera mezcla, la caja del camión será lavada con una aplicación ligera de una solución jabonosa o una emulsión de silicón (lubricar con keroseno o diesel no es permitido), para reducir la adherencia de la mezcla en la caja del camión.

Bajo la dirección del ingeniero, la mezcla será cubierta con una lona o un cubrimiento similar para prevenir el rápido enfriamiento.

LA COLOCACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA AHULADA

La mezcla será colocada y terminada por medio del equipo de pavimentación "Finisher", excepto en condiciones descritas abajo o para ciertas localizaciones, donde el ingeniero determinará el no uso de pavimentadoras auto-propulsadas.

La temperatura de la mezcla inmediatamente detrás de la pavimentadora será entre 150°C y 165°C.

El equipo de pavimentación que colocará la mezcla sin segregación o desgranamiento dentro de las tolerancias especificadas y una verdadera linealidad de pendiente, sección transversal y un ancho de la corona indicada en los planos. Para realizar una operación continua en el tendido, la velocidad de la pavimentadora será coordinada con la producción de la planta de mezclado.

El ancho de cada pasada de la pavimentadora estará limitada a un ancho máximo de la plancha de calentamiento o al quitar los ensambles al lado de la barrera, el ancho puede ser aumentado, de acuerdo a la indicación del ingeniero.

La mezcla no será colocada en una superficie húmeda o cuando las condiciones del tiempo fueran desfavorables; para prevenir esto debe haber una adecuada supervisión. La mezcla será colocada únicamente cuando la temperatura atmosférica sea por lo menos de 16°C para las mezclas de graduación abierta y por lo menos de 10°C por las mezclas de graduación densa o discontinua.

COMPACTACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA AHULADA

La mezcla será compactada por medio de equipo de compactación adecuado, así un mínimo de dos rodillos serán utilizados para la compactación de la mezcla excepto lo autorizado de diferente manera por el ingeniero. Las ruedas de tambor de acero serán humedecidas con agua clara o si es necesario con agua jabonosa, para prevenir la adherencia de la mezcla en el rodillo en la etapa de la compactación.

La compactación se comenzará inmediatamente después del tendido de la mezcla para aprovechar su temperatura y obtener de manera mas fácil y rápida la compactación especificada.

Una cobertura será de varias pasadas siendo necesario cubrir la totalidad del ancho que será pavimentado con una pasada. Cada cubrimiento se completará antes del cubrimiento subsecuente. Toda cobertura será realizada sin provocar fracturamiento excesivo del agregado.

APLICACIÓN DE MATERIALES SECANTE O POREO

La aplicación del material secante (usualmente 0.5 a 1.0 kg/m²), debe ser de acuerdo a los requerimientos, y puede ser necesario en una superficie caliente antes de la apertura al tránsito. Normalmente se coloca arena que sirve para aislar o secar la superficie para que pueda estar en contacto con los neumáticos.

El uso, la cantidad y localización para el material secante será diseñado por el ingeniero, el material secante será aplicado uniformemente utilizando el equipo especificado.

CONTROL DEL TRÁNSITO

El tránsito será dirigido con señales (signos), barricadas, dispositivos para suministrar la máxima seguridad para el usuario y el trabajador con una interrupción mínima del trabajo y para proteger la superficie de daños hasta no lograr un enfriamiento suficiente o bien se puede proceder a cubrir con material secante al aumentar el tránsito.

5. Estudio económico

Para poder elegir el asfalto a utilizar en algún proyecto, se tiene que conocer además de las características físicas, su costo, debido a que es un factor sumamente importante en la evaluación de cualquier proyecto, para la toma de decisiones.

El asfalto ahulado llega a ser más costoso que el concreto asfáltico convencional, incluso que el modificado con polímeros también. Sin embargo, en diversos departamentos de Transporte de Estados Unidos —donde se ha investigado la técnica por más de 40 años— han establecido que los costos también disminuyen con carpetas de espesores de 2 a 3 cm, menores que el espesor convencional, lo que reduce casi 50% la cantidad de materiales.

En las siguientes tablas se muestra la diferencia en costo entre una carpeta de concreto asfáltico tradicional una carpeta modificada con polímero (elvaloy) y una carpeta de concreto de asfalto ahulado. Estudio realizado a costos directos.

Tipo de asfalto	Costo por metro cuadrado			
	Riego de liga	Carpeta de asfáltica*	Riego de sello	Costo Total
Convencional	\$ 3.55	\$ 36.51	\$ 10.14	\$ 50.20
Modificado con elvaloy	\$ 4.85	\$ 50.21	\$ 10.14	\$ 65.20
Ahulado		\$ 54.04	\$ 21.01	\$ 91.87
Ahulado con 3.5cm de espesor en la carpeta		\$ 37.83	\$ 21.01	\$ 58.84

*Para la carpeta asfáltica el espesor es de .05m
 NOTA: Los precios unitarios anotados equivalen a un tramo específico en condiciones iguales.

COMPARATIVA PORCENTUAL ENTRE EL COSTO UNITARIO POR METRO CUADRADO DE UN SISTEMA DE DOS CAPAS

Asfalto ahulado comparado con asfalto convencional		
	carpeta de 5cm	carpeta de 3.5 cm
Sistema de 2 capas	83.01%	17.21%

NOTA: Los costos porcentuales anotados equivalen a un tramo específico en zonas con condiciones iguales, por lo que para zonas distintas a la considerada la variación porcentual tabulada es válida por ser una representación objetiva

Asfalto ahulado comparado con asfalto modificado con elvaloy		
	carpeta de 5cm	carpeta de 3.5 cm
Sistema de 2 capas	40.90%	-9.76%

NOTA: Los costos porcentuales anotados equivalen a un tramo específico en zonas con condiciones iguales, por lo que para zonas distintas a la considerada la variación porcentual tabulada es válida por ser una representación objetiva.

En las tablas anteriores se puede notar que el asfalto ahulado es más costoso que el asfalto convencional e incluso que el modificado con polímeros. Pero debido a que en un sistema de dos capas el asfalto ahulado adquiere un mejor comportamiento por la membrana intermedia, la carpeta ahulada puede reducir su espesor a 3.5cm y con esto reducir notablemente los costos.

Además de lo anterior, se ha logrado que un sello con hule-asfalto se comporte bien por 20 años sobre pavimentos literalmente agrietados y se ha obtenido que se mantengan libres de mantenimiento por más de 12 años. La vida promedio de sellos con hule asfalto es de 15 a 20 años, si consideramos la vida esperada de los sellos de 2 a 3 años con un asfalto convencional, y un sello con emulsión y polímeros de 6 a 8 años con hule asfalto se tiene 6 veces la vida de un sello convencional y de 1.5 veces la vida de un sello con polímeros.

Con lo anterior se puede notar que existe una reducción de mantenimiento muy importante y por lo tanto el costo económico del sello ahulado es menor que el costo del sello convencional en un periodo de 12 años.

Los ahorros en el costo provienen de un ciclo de vida mayor, un menor costo de mantenimiento y el uso de menor cantidad de materiales. En la mayoría de los casos, debido a la flexibilidad y resistencia del asfalto ahulado, sólo la mitad de los materiales son necesarios cuando se comparan con el concreto asfáltico convencional

Es importante indicar que el impacto económico es en el ligante asfáltico que corresponde al 6% en volumen de la carpeta asfáltica, ya que el 94% restante es el agregado.

Además de la reducción de costos a largo plazo, se tiene una más importante que es la de una fuente de contaminación de llantas de desecho. Así que no sólo se obtiene con la utilización de asfaltos ahulados un beneficio en costos sino que en salud y medio ambiente, debido a que utilizando asfalto ahulado se puede llegar a eliminar los tiraderos de llantas de desecho y con lo anterior toda la contaminación de las mismas.

6. Experiencias con asfaltos ahulados

Desde los años 1935 y 1940 se empezaron a hacer varias pruebas con hule vulcanizado, aunque no todo fue lo esperado se continuaron los trabajos pero realmente fue hasta 1988 cuando se logró un buen comportamiento con este nuevo proceso.

Existen miles de kilómetros con asfaltos ahulados en Europa y Estados Unidos desde hace varios años, aunque en México estos procedimientos se empezaron a utilizar hasta 40 años después, es decir por los años noventa. Aunque en los años 60 se utilizó el asfalto ahulado en la planta del Distrito Federal. Este retraso se debió al rezago que tiene nuestro país en tecnología de este tipo en comparación con los anteriores.

Actualmente en México se siguen utilizando los asfaltos ahulados aunque no tan frecuentemente como sería lo deseado.

6.1 Experiencias en México

PERSPECTIVAS EN MÉXICO

La experiencia más significativa que existe en México de la aplicación de asfalto ahulado es la construcción de 394 kilómetros de carpetas drenantes ahuladas en las autopistas controladas por el organismo CAPUFE entre 1994 y 1998.

El inicio del empleo de asfaltos ahulados, ocasionó la autocalificación de las empresas que intervinieron, encontrándose principalmente los siguientes problemas:

- Ø Adquisición del hule molido. En esa época sólo existía un procesador de las llantas de desecho, que obtenía el producto para su autoconsumo. El precio del producto era mucho más costoso que el que se podía obtener a través de importaciones de Estados Unidos. Algunas empresas utilizaron “raspadura de llanta” que se obtiene del lomo de la llanta y que no cumple con las características del reciclado de llantas donde se utiliza los diferentes hules que conforman la llanta en su conjunto.
- Ø Preparación del asfalto ahulado. Encontrar las temperaturas adecuadas para la mezcla del hule con el asfalto, el tipo de mezclador para evitar sedimentaciones son los principales problemas que se presentaron para la adecuada integración del hule molido al asfalto.
- Ø Traslados. Cuando los traslados eran a grandes distancias, provocaban que en numerosas ocasiones el producto se recibiera en la obra a bajas temperaturas y sedimentado, ocasionando problemas graves para recalentarlo y homogeneizarlo.

Ø Aplicación. Se debe contar con equipos de tendido y compactación en condiciones óptimas. También debe de contarse con una fuente de energía alterna para el funcionamiento de la planta de asfalto. Se debe tener el cemento asfáltico ahulado necesario para su aplicación en una jornada de trabajo. Cualquier producción excedente será seguramente pérdida del producto y dará problemas de limpieza de los equipos.

La experiencia obtenida durante esos cuatro años, nos indica que existe capacidad técnica para poder realizar proyectos de pavimentos con asfalto ahulado.

Las ventajas técnicas que se logran con el empleo del asfalto ahulado ayudarán en gran medida a tener pavimentos de calidad.

El aspecto fundamental de utilizar los asfaltos ahulados, es el impacto ambiental: resolver el problema de los tiraderos de las llantas de desecho y por otro lado, la disminución del ruido en las carreteras y principalmente en las vialidades urbanas que afectan sensiblemente a la población.

En la siguiente tabla se muestran algunos de los tramos construido con asfalto ahulado en diferentes estados de la República Mexicana.

ESTADO	CARRETERA	TRAMO	SUBTRAMO	FECHA DE CONSTRUCCIÓN
Puebla Longitud : 60 kms	San Salvador El Seco - Azumbilla	San Salvador El Seco – T” Azumbilla	Del km 0+000 Al km 60+000	Julio de 2001 a Marzo de 2002
Tlaxcala Longitud: 10 kms	Los Reyes - Zacatepec	Lim. Méx. / Tlax. - Apizaco	Del km 58+000 Al km 68+000	Febrero de 2002
Jalisco Longitud: 10 kms	San Luis Potosí - Guadalajara	Lagos de Moreno - Guadalajara	Del km 148+000 Al km 158+000	Mayo de 2002
Morelos Longitud: 7.1 kms	Santa Bárbara – Izucar de Matamoros	Libramiento - Cuautla	Del km 0+000 Al KM 7+100	Mayo de 2002
Morelos Longitud: 15.1 kms	Cuernavaca- Chilpancingo	Cuernavaca – Lím. Edos. Gro./Mor.	Del KM 42+000 Al KM 57+100	Junio 2002
Guanajuato Longitud : 15.5 kms	Querétaro – León	Lím. Qro./Gto. - Celaya	Del KM 13+500 Al KM 29+000	Septiembre 2002
Guanajuato Longitud : 24.8 kms	Querétaro – León	Salamanca – Irapuato (Cuerpos A y B)	Del KM 95+600 Al KM 108+000	Octubre 2002
Michoacán Longitud : 14 kms	Morelia – Guadalajara	Zamora - Jiquilpan	Del KM 172+000 Al KM 186+000	Octubre 2002

Riego De sello



Carretera: Querétaro - León
Tramo: Lím. Edos. Qro./Gto. - Celaya
Subtramo: del km 13+500 al km 29+100
Fecha de construcción: octubre de 2002

**Concreto con asfalto ahulado en carpeta con granulometría densa
(Dense-graded)**



Carretera: San Salvador el Seco – Azumbilla
Tramo: San Salvador el Seco – “T” Azumbilla
Subtramo: del km 0+000 al km 0+700 (tramo9 de prueba)
Fecha de construcción: Julio de 2001

**Concreto con asfalto ahulado en Carpeta con granulometría intermedia
(Gap-graded).**



Carretera: San Salvador el Seco – Azumbilla
Tramo: San Salvador el Seco – “T” Azumbilla
Subtramo: del km 0+000 al km 0+700 (tramo de prueba)
Fecha de construcción: Julio de 2001

En los últimos años se han seguido utilizando asfaltos ahulados en los aeropuertos de San Luis Potosí y Mexicali, aunque no se cuentan con datos exactos de cuantos kilómetros ahulados existen actualmente.

6.2 Tendencias internacionales

Por los años 1935 y 1940 se colocaron más de 30 secciones de pavimentos usando polvos de hule natural, en Holanda.

Desde 1938 se hicieron pavimentaciones experimentales usando polvos de hule natural, en Java, Países Bajos, Islas Británicas, Sudáfrica, Suecia, Dinamarca, Bélgica, Francia e Italia.

Se han construido caminos de prueba con pavimentos que llevan polvo de hule en Europa, Canadá, Terranova y Estados Unidos desde 1949. Incluyendo en este periodo los proyectos en Virginia, Ohio, Texas, California, Minnesota, Rhode Island, New Jersey, Massachussets, Connecticut, Ciudad de Nueva York y en el Distrito de Columbia.

Alrededor de 1950 se hicieron experimentos de pavimentos con hule pulverizado mezclado, en Malaya e Inglaterra.

Se han hecho pavimentos con mezcla de hule y material bituminoso en el Puerto Internacional Friendship de Baltimore, en la base aérea de Hunter, Svannah Georgia y en la base de la fuerza aérea en la Isla Presque, Maine.

Las formas de hule natural para la mezcla con materiales bituminosos aceptables para esa época eran las siguientes:

- Ø Mealarub – Polvo ligero de hule vulcanizado que se produce en Malaya, Singapur e Indonesia.

Ø Pulvatex – Polvo fino compuesto de 60% de hule vulcanizado y 40% de infusión de tierra. Se produce en Holanda.

Ø Látex – Se obtiene del árbol del hule y tiene contenidos de hule que varían de 40 a 60%.

Durante los procesos de prueba se utilizaba del 3% al 10% de hule del peso volumétrico del material bituminoso.

El asfalto ahulado se empezó a utilizar en California a finales de 1970 y principios de 1980. Caltrans usó Asfalto ahulado en sello a finales de 1970 y en mezclas en caliente a principios de 1980 y en 1983 en el proyecto Revendale.

Ejemplos de ciudades y condados en California que utilizan asfaltos ahulados:

Condados: Contra Costa, Los Ángeles, Orange, Riverside, Sacramento, San Diego, Santa Bárbara, Santa Clara.

Ciudades: Arcadia, Burbanks, Camarillo, Carson, Campton, Claremont, Costa Mesa, Dana Point, Dixon, Escondido, Fillmore, Fontana, Follerton, Ganden Grove, Glandale, Hawthorne, Hemet, Highland, Inglewood, Irwindale, Lake Forest, Lakewood, Laguna Nigel, Lynwood, Missian Viejo, Modesto, Oakland, Oceanside, Notario, Oxnard, Palm Springs, Palmadle, Roseville, San Clemente, San Dimas, San José, San Luis Obispo, Santa Bárbara, Santa Clarita, Southgate, Thousand Oakes, Torrance, Ventura, Victorville.

El 14 al 17 de noviembre del 2000 se llevó a cabo la Conferencia Asphalt Rubber 2000. “El modificador de pavimentos del siglo XXI” en Portugal. Asistieron 120 técnicos de 23 países y 80 del país anfitrión. Se presentaron 40 ponencias (18 USA; 4 España; 3 Portugal; 3 Brasil; 2 Sudáfrica; 1 de Australia, Bélgica, Canadá, China, Francia, Grecia, Inglaterra, Japón, Polonia y Rusia).

Dentro de los trabajos presentados destacan:

Las evaluaciones que se han hecho del comportamiento de los pavimentos con asfalto modificado con hule molido en Arizona y Bélgica.

Los trabajos de laboratorio que realiza Rusia para fundir el hule molido antes de mezclarlo con el asfalto.

La reducción del ruido al usar pavimentos modificados con asfalto ahulado.

La incorporación de hule molido en el agregado antes de la mezcla con el asfalto.

Evaluaciones sobre el comportamiento de los pavimentos con asfalto modificado con hule molido en Arizona, Florida y Bélgica.

ARIZONA.

Siendo Arizona el pionero en el uso de los asfaltos ahulados desde los inicios de los 60, son importantes sus experiencias exitosas que determinaron el uso adecuado del asfalto ahulado a partir de 1968, como capa interior en mezclas en caliente (HMA) para reducir el agrietamiento de reflexión, incrementar la duración de las superficies y en la reducción de ruido en las áreas urbanas. Con este sistema han construido más de 4,000 kilómetros de pavimentos con asfalto ahulado con magníficos resultados. Aunado a esto, se han utilizado 8.5 millones de llantas de desecho recicladas para la realización de estos proyectos.

En otro proyecto realizado en Flagstaff, en la interestatal 40 con tráfico muy pesado (20,000 vehículos diarios), se buscó eliminar las cuarteaduras existentes en un tramo de 16.7 kilómetros, con ancho de 12 metros, utilizando un asfalto ahulado, con una proporción de 80% de asfalto en caliente y un 20% de hule de llanta. El revestimiento proyectado fue colocado sobre un muy mal y fracturado pavimento de concreto hidráulico, en que era necesaria su reconstrucción. La capa de asfalto ahulado fue ejecutada rebasando las expectativas originales. Después de 9 años de servicio, el recubrimiento se mantiene en óptimas condiciones, libre de cuarteaduras, de buen manejo sin surcos ni mantenimiento y con buena resistencia al derrapamiento.

Los beneficios que se tuvieron en este proyecto representaron alrededor de \$18 millones de dólares de ahorro en la construcción y cuatro años menos del tiempo de construcción, en caso de haberse reconstruido nuevamente con concreto hidráulico

BÉLGICA

En los años 80 se inició el uso de asfalto ahulado en Bélgica en los asfaltos porosos y en capas internas, como membrana intermedia para absorber esfuerzos (SAMI). Los procedimientos que se siguieron fueron nivelación de la vía a un pequeño espesor de 19mm a 25mm y una generosa capa inferior. Fue utilizada principalmente para propósitos de seguridad (adhesión – llanta – carretera) y para cubrir agrietamientos. La cantidad de poros en este tipo de vía fue del orden del 15%. Estas carpetas empezaron a tener mantenimiento después de 10 a 12 años de servicio. Los inconvenientes de este sistema son los altos riesgos si no se tiene una calidad en todo el proceso, lo que repercute en altos costos.

Trabajos de laboratorio que realiza Rusia para fundir el hule molido antes de mezclarlo con asfalto

En Rusia, se están haciendo pruebas de laboratorio en las que el procedimiento de incorporación del hule molido a las mezclas asfálticas es por

medio de un suavizado del hule que es una especie de fundición del hule antes de ser incorporado al asfalto con el que se elaborará la mezcla asfáltica.

Podemos decir, que la naturaleza química del ablandamiento impacta a las propiedades del asfalto ya modificado, elevando la viscosidad y abatiendo la penetración.

Reducción de ruido al usar pavimentos con asfalto ahulado

De acuerdo a pruebas realizadas en Sacramento California, donde los niveles máximos de ruido aceptables son entre 60 y 75 dB, se hicieron pruebas de niveles de ruido en tres tipos de vialidades.

Una en vía rápida (Expressway), donde se comportó de la siguiente manera:

- Después de un mes de colocada una mezcla con asfalto ahulado, redujo el nivel de ruido 6dB
- En 16 meses, el nivel de ruido había bajado 5 dB
- Después de 6 años se conservó el nivel de ruido en 5 dB abajo.

En una vialidad principal urbana

- Después de 6 meses de colocada la mezcla con asfalto ahulado, se tenía una reducción de 4 dB en el nivel de ruido
- Después de 5 años se mantenía una reducción de ruido de 3 dB.
- En una calle vecinal, después de un mes, se tenía una disminución de 2 dB de ruido y después de 4 años, no había disminución alguna. En este caso se utilizó una mezcla de asfalto convencional.

Estos datos muestran que la construcción de los pavimentos con asfalto ahulado reducen entre el 8% y el 10% los niveles de ruido ocasionados por la fricción de las llantas con el pavimento

Estudio de 20 Años de Pavimentos de Hule-Asfalto en la Ciudad de Phoenix Arizona

La aplicación de hule-asfalto en calles de la Cd. de Phoenix se efectuó a mitad de los sesentas.

La viscosidad del cemento asfáltico con y sin hule tuvo que ser determinado y la importancia de estos resultados en el fenómeno del envejecimiento fue discutido. Un gran número de las calles de la Ciudad se les aplicó hule-asfalto.

El resto de las calles fueron inspeccionadas en cuanto a condiciones del pavimento y se les encontraron las fallas; durante los 20 años de uso se encontraron mas ventajas sobre la utilización del hule-asfalto en cuanto a mantenimiento en tratamientos superficiales de las calles de la ciudad, así que han sido, muy notable las ventajas del riego con asfalto ahulado.

INTRODUCCION

La Ciudad de Phoenix con una extensión de más de 900 kilómetros de calles principales y 5000 kilómetros de calles residenciales; calles que son constantemente monitoreadas a fin de prever un apropiado mantenimiento y rehabilitación, de acuerdo a un sistema de manejo de pavimentos. En la mitad de los sesenta la Ciudad de Phoenix fue la primera en el uso de riegos de sello con hule-asfalto en una mezcla de 75 a 80% de cemento asfáltico y de 20 a 25% de hule granulado de llantas usadas, mezclado a una temperatura de 150 a 205°C al fin de causar la reacción. Una pequeña cantidad de aditivo es adicionado a la mezcla por implementar un flujo característico en la aplicación con las espreas.

USO PRIMARIO

La primera aplicación del hule-asfalto fue en 1964 seguido de un explosivo programa de pruebas de campo en las calles del Aeropuerto Internacional SKY HARBOR, en 1965, suceso que permitió, de acuerdo a la experiencia obtenida, el uso en las calles de la ciudad. Phoenix ha usado hule-asfalto en dos tipos de tratamientos superficiales: uno en membrana de absorción de esfuerzos (SAM) donde un sello con hule-asfalto es aplicado en las deformaciones y grietas de la superficie, y otro es la membrana intermedia para absorber esfuerzos (SAMI), en esta forma los tratamientos de sello con hule-asfalto caliente en riegos de sello, seguido de una mezcla asfáltica de 4 a 6 centímetros compactos de sobrecapa. El SAMI es generalmente utilizado en calles principales con un gran número de cortes y de grietas extensas. La aplicación de hule-asfalto es recomendada en la Ciudad para incorporar, en donde existan pavimentos que tienen evaluados su estructura y la califiquen como inadecuada.

Una de las primeras aplicaciones de hule-asfalto en riego de sello fue en 1971, en el camino a Indian School, de la avenida central a la Av. siete. La superficie del pavimento que originalmente estaba en condiciones muy pobres, con grandes grietas, recibió la aplicación de riegos de sello con hule-asfalto como una medida temporal, para evitar que la calle tuviera un mayor deterioro y fallas y esto demoró su reconstrucción; la calle se ha comportado satisfactoriamente con muy pocos trabajos de mantenimiento, en los últimos 19 años, el centro del tránsito en la calle se ha incrementado de 30,000 ejes equivalentes en 1971 a 60,000 en 1990; la calle fue reconstruida totalmente en 1991.



Foto 1 Calle Indian School, Condiciones Después de 19 Años.

Otra aplicación fue en la 1-17 camino frontal y la rampa de la calle Van-Buren en diciembre de 1998 el pavimento es removido a causa de un mayor incremento de tránsito debido a que 1-10 y 1-17 se transformaron en Freeways en 1989. Una membrana de absorción de esfuerzos SAM consistente de hule-asfalto caliente seguido de un sello de 3/8" (9.5 mm) precubierto fue colocada en el sitio, no se utilizó el sello sobre el hule-asfalto, la superficie de 1967 estaba programada para remplazarse y fue salvada por 21 años.

Desde 1967, el tratamiento se ha aplicado en más de 5000 kilómetros de líneas de circulación de Phoenix así como en el mantenimiento de las calles de circulación de vehículos, en el Aeropuerto SKY HARBOR.

El principal problema encontrado primeramente en la aplicación de hule-asfalto se tiene cuando el sello se pierde en áreas de calles de poco o ningún tránsito. Esto causa algunos lloviznos y pérdida de hule-asfalto, el problema es resuelto al incrementar la aplicación de hule-asfalto y con la adición de un rociado de asfalto, para cubrir el sello; el riego con espumas de emulsión se recomienda cuando se usa material de sello de 1 cm o menor. La utilización de riegos de sello con hule asfalto durante 30 años ha permitido el desarrollo, en la ciudad de Phoenix, de experiencias exitosas.

7. Conclusiones

De acuerdo con lo anotado se puede observar que el comportamiento mecánico del asfalto modificado con hule molido de llantas de desecho es muy bueno y mejor aún que el asfalto convencional, además de observar que el equipo necesario es similar al utilizado con asfaltos convencionales y el procedimiento constructivo también, por lo tanto la capacitación del personal para este tipo de proyectos es mínima.

Al utilizar las llantas de desecho en asfaltos modificados se logra un mejor comportamiento del asfalto y se obtiene una mejor calidad en carreteras y vialidades.

Con el asfalto ahulado se está disminuyendo un foco de infección muy grande y muy peligroso, y se elimina la contaminación por los posibles incendios debido a los enormes tiraderos, también se reduce la contaminación por ruido en las carreteras.

La utilización del hule de llanta de desecho como modificador de asfaltos, es definitivamente una alternativa a considerar en las tareas de construcción, conservación y rehabilitación de pavimentos asfálticos, siempre y cuando se tomen en cuenta las condiciones del tráfico y del clima a las que se verán sometidos estos materiales.

7.1 Ventajas

Primero se van a mencionar las ventajas que se obtienen con la utilización de las llantas de desecho en la modificación de asfaltos en cuanto al ambiente y posteriormente se nombrarán las ventajas en cuanto a la parte técnica relacionada con su comportamiento mecánico.

Son diversas las ventajas que existen en cuanto a la utilización de las llantas de desecho.

- Ø La más importante de todas es que se puede lograr eliminar los tiraderos de llantas, ya que si el 5% de las carreteras de la nación fueran encarpetadas anualmente con asfalto ahulado, prácticamente todas las llantas de desecho del país podrían ser removidas de la corriente de desperdicios. Debido a que se utilizan 2252 (tipo 2, que es hule molido de neumático y hule natural) y 3218 (tipo 1 es solamente hule molido de neumático) llantas por cada carril por metro.

- Ø Al eliminar los tiraderos se evitan los gases peligrosos que éstos ocasionan y por lo tanto se da una mejor vida a la fauna que rodea los mismos.

- Ø Se eliminan los posibles incendios que se pueden ocasionar en estos lugares los cuales crean desastres ambientales.
- Ø Se eliminan las plagas, como mosquitos y roedores, y con esto se evita el contagio de enfermedades tales como la encefalitis o la fiebre amarilla.
- Ø Los mantos acuíferos se encontrarían más limpios debido a que las llantas sueltan aceites y otras sustancias tóxicas que son filtradas a los mismos.
- Ø Se requiere emplear menos agregados y así se conservan los recursos naturales debido a que se reducen los espesores a través del asfalto ahulado y con esto se ahorran grandes cantidades de agregados a utilizar para la carretera.
- Ø Se reduce el ruido del tráfico hasta un 85% en algunos casos. Generalmente el asfalto ahulado minimiza un 50% el ruido.

Por otra parte en cuanto a la cuestión técnica también se tienen bastantes ventajas:

Ventajas de sellos de hule-asfalto tipo SAM o SAMI han dado al manejo de los sistemas de pavimentos.

- Ø Retarda de 8 a 10 años la reflexión de grietas en los materiales de pavimentos cuando las grietas son menores a 6.0 mm de abertura.
- Ø No aparecen grietas secundarias por un periodo mayor de 15 años.
- Ø Retarda el despostillado del concreto asfáltico en zonas cercanas a los baches y a grietas principales.
- Ø Ayuda a que la estructura del pavimento sea a prueba de agua al obtener una máxima estabilidad.
- Ø Sella y preserva, en el lugar original, la calidad del cemento asfáltico y el concreto asfáltico.

- Ø Reduce considerablemente el mantenimiento de los asfaltos.
- Ø Sirve para absorber los esfuerzos de intercapas y con esto se puede reducir el mantenimiento a futuro.
- Ø Es un excelente sellador de grietas con o sin arena.
- Ø La vida del pavimento puede ser incrementada de acuerdo con el tipo de carpeta seleccionada.
- Ø El hule-asfalto en sellos tiene de dos a dos y media veces más tiempo de vida en tratamientos preventivos, y cuando el tipo de sello aplicado es el apropiado dura de dos a 5 veces más.

Los atributos que tiene el asfalto ahulado son los siguientes:

- Ø Durabilidad en términos de agrietamiento y resistencia al envejecimiento.
- Ø Susceptibilidad a bajas temperaturas.
- Ø Tiene mejor cohesión, resistencia al esfuerzo a la tensión, resistencia al esfuerzo cortante, adhesión y resistencia al desmoronamiento comparado con un asfalto convencional.
- Ø Más alta viscosidad y mayor resistencia al envejecimiento comparado con un asfalto convencional.
- Ø La construcción es muy similar a la de un asfalto convencional, pero en el caso de los asfaltos ahulados no se requiere suspender el tráfico después de ser colocado.
- Ø Se reducen los gastos por mantenimiento y rehabilitación, respecto a los de una carretera con asfalto convencional.
- Ø La carpeta asfáltica ahulada es completamente reciclable, no sólo los agregados pueden ser reusados, sino que también el asfalto ahulado debido a que retiene muchas de sus propiedades cementantes.

- Ø Es más seguro que un asfalto convencional debido a que sus superficies son seguras a la fricción, sobre todo las carpetas de graduación abierta y discontinua porque reducen los encharcamientos y los riesgos a los que estos llevan.
- Ø Puede ser utilizado para reducir espesores. Esto significa que menor cantidad de agregados deben ser extraídos, y por lo tanto una menor cantidad de acarreos del banco al lugar de la obra.
- Ø La reducción del ruido impacta en la utilización de muros aisladores en menor cantidad, cuyo costo varia de \$7,414.61 pesos hasta \$14,829.22 pesos por metro lineal.

La fotografía muestra las condiciones típicas de una calle que va a recibir una capa de mezcla asfáltica en caliente con hule-asfalto.



Foto: Sobrecapa con hule-asfalto en caliente, condiciones antes de colarla en el lado izquierdo y capa colocada en el lado derecho.

7.2 Desventajas

Las desventajas que se conocen actualmente es que existen muy pocas compañías en México que se dedican a reciclar las llantas, para ser más exactos sólo existen tres empresas en la actualidad que se dedican a lo anterior, debido a eso se puede saber que la presencia de esa tecnología es casi nula en nuestro país y por lo mismo su costo es elevado debido a

que se tiene que importar, así como también es necesaria una capacitación para el personal, y todavía se tiene que traer gente del extranjero.

El asfalto ahulado se opera a temperaturas muy elevadas (170°C – 190°C), lo cual es un gran problema de manejabilidad.

Bibliografía

1. Cámara Nacional de la Industria Hulera. *Dimensión Hulera*. Órgano informativo.
2. INEGI. 1993. Estadísticas Históricas de México.
3. INEGI. Encuesta Industrial Mensual. Archivos electrónicos y Junio de 1995.
4. INEGI. Anuario Estadístico del Comercio Exterior de los Estados Unidos Mexicanos, 1994. Importación.
5. SEDESOL, 1994. Estudio de ingeniería financiera para la reconversión tecnológica de proyectos de la industria localizados en las ciudades de la Frontera Norte.
6. INEGI. Dirección General de Estadística, varios años.
7. El asfalto ahulado como aglutinante y su utilización en pavimentos. Conrasa, S. A. de C. V.
8. Normas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes publicadas por el Instituto Mexicano del Transporte.
9. Memoria de Carreteras 2002 de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
10. Asphalt Rubber Design and Construction Guidelines. Design guidelines. Volume I. Rubberized Asphalt Concrete Technology Center and the California Integrated Waste Management Board. 2002
11. Asfaltos modificados con hule molido. Ing. Rafael Limón Limón, Ing. Jorge Cárdenas García. Asociación Mexicana del Asfalto. 2002
12. Experiencias con Asfalto ahulado. Asociación Mexicana del Asfalto
13. Glosario especializado de terminología asfáltica. Asociación Mexicana del Asfalto. 2002

Páginas web

www.sct.gob.mx

www.imt.mx

www.rubberpavements.org

www.dot.ca.gov

www.rubberpavements.org/library/lcca_australia

www.virginiadot.org/vtrc/briefs/98-r11rb/sam.htm

www.coloradosprings.org

http://portal.sct.gob.mx/SctPortal/appmanager/Portal/Sct?_nfpb=true&_pageLabel=P38003

www.obrasweb.com

LIBRO: **CMT. CARACTERÍSTICAS DE
LOS MATERIALES**

PARTE: **4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS**

TÍTULO: 05. Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas

CAPÍTULO: 001. Calidad de Materiales Asfálticos

A. CONTENIDO

Esta Norma contiene las características de calidad que deben cumplir los materiales asfálticos que se utilicen en la elaboración de carpetas y mezclas asfálticas.

B. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

El asfalto es un material bituminoso de color negro, constituido principalmente por asfaltenos, resinas y aceites, elementos que proporcionan características de consistencia, aglutinación y ductilidad; es sólido o semisólido y tiene propiedades cementantes a temperaturas ambientales normales. Al calentarse se ablanda gradualmente hasta alcanzar una consistencia líquida.

Los materiales asfálticos se emplean en la elaboración de carpetas, morteros, riegos y estabilizaciones, ya sea para aglutinar los materiales pétreos utilizados, para ligar o unir diferentes capas del pavimento; o bien para estabilizar bases o subbases. También se pueden usar para construir, fabricar o impermeabilizar otras estructuras, tales como algunas obras complementarias de drenaje, entre otras.

Los materiales asfálticos se clasifican en cementos asfálticos, emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados, dependiendo del vehículo que se emplee para su incorporación o aplicación, como se indica en la Tabla 1 de esta Norma y se detalla a continuación.

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-05-001/05

TABLA 1.- Clasificación de los materiales asfálticos

Material asfáltico	Vehículo para su aplicación	Usos más comunes
Cemento asfáltico	Calor	Se utiliza en la elaboración en caliente de carpetas, morteros y estabilizaciones, así como elemento base para la fabricación de emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados.
Emulsión asfáltica	Agua	Se utiliza en la elaboración en frío de carpetas, morteros, riegos y estabilizaciones.
Asfalto rebajado	Solventes	Se utiliza en la elaboración en frío de carpetas y para la impregnación de subbases y bases hidráulicas.

B.1. CEMENTOS ASFÁLTICOS

Los cementos asfálticos son asfaltos obtenidos del proceso de destilación del petróleo para eliminar solventes volátiles y parte de sus aceites. Su viscosidad varía con la temperatura y entre sus componentes, las resinas le producen adherencia con los materiales pétreos, siendo excelentes ligantes, pues al ser calentados se licúan, lo que les permite cubrir totalmente las partículas del material pétreo.

Según su viscosidad dinámica a sesenta (60) grados Celsius, los cementos asfálticos se clasifican como se indica en la Tabla 2 de esta Norma, donde se señalan los usos más comunes de cada uno.

Cuando en el mercado no esté disponible el asfalto AC-30, el Residente de la obra podrá solicitar a la Dirección General de Servicios Técnicos de la Secretaría, la autorización para sustituirlo por AC-20, haciendo los ajustes correspondientes al precio unitario del producto.

B.2. EMULSIONES ASFÁLTICAS

Las emulsiones asfálticas son los materiales asfálticos líquidos estables, constituidos por dos fases no miscibles, en los que la fase continua de la emulsión está formada por agua y la fase discontinua por pequeños glóbulos de cemento asfáltico. Se denominan emulsiones asfálticas *aniónicas* cuando el agente emulsificante confiere polaridad electronegativa a los glóbulos y emulsiones asfálticas *cationicas*, cuando les confiere polaridad electropositiva.

NORMAS

N-CMT-4-05-001/05

TABLA 2.- Clasificación de los cementos asfálticos según su viscosidad dinámica a 60°C

Clasificación	Viscosidad a 60°C Pa·s (P ^[1])	Usos más comunes
AC-5	50 ± 10 (500 ± 100)	<ul style="list-style-type: none"> • En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 1 en la Figura 1. • En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen para riegos de impregnación, de liga y poreo con arena, así como en estabilizaciones.
AC-10	100 ± 20 (1 000 ± 200)	<ul style="list-style-type: none"> • En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 2 en la Figura 1. • En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos, dentro de las regiones indicadas como Zona 1 en la Figura 1.
AC-20	200 ± 40 (2 000 ± 400)	<ul style="list-style-type: none"> • En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 3 en la Figura 1. • En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos, dentro de las regiones indicadas como Zona 2 en la Figura 1.
AC-30	300 ± 60 (3 000 ± 600)	<ul style="list-style-type: none"> • En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 4 en la Figura 1. • En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos, dentro de las regiones indicadas como Zonas 3 y 4 en la Figura 1. • En la elaboración de asfaltos rebajados en general, para utilizarse en carpetas de mezcla en frío, así como en riegos de impregnación.

[1] Poises

Las emulsiones asfálticas pueden ser de los siguientes tipos:

- De rompimiento rápido, que generalmente se utilizan para riegos de liga y carpetas por el sistema de riegos, a excepción de la emulsión ECR-60, que no se debe utilizar en la elaboración de éstas últimas.
- De rompimiento medio, que normalmente se emplean para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta, especialmente cuando el contenido de finos en la mezcla es igual que dos (2) por ciento o menor, así como en trabajos de conservación tales como bacheos, renivelaciones y sobrecarpetas.

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-05-001/05

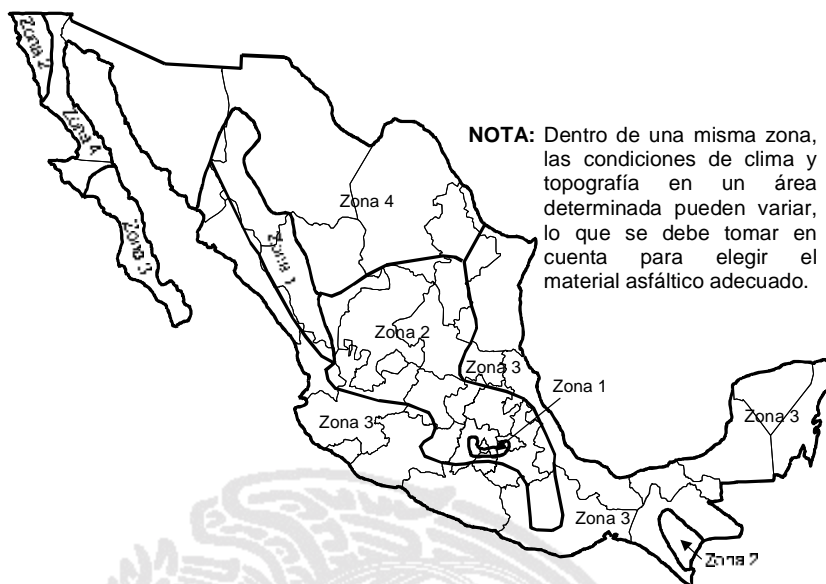


FIGURA 1.- Regiones geográficas para la utilización de asfaltos clasificados según su viscosidad dinámica a 60°C. (Ver Tabla 2)

- De rompimiento lento, que comúnmente se utilizan para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta y para estabilizaciones asfálticas.
- Para impregnación, que particularmente se utilizan para impregnaciones de subbases y/o bases hidráulicas.
- Superestables, que principalmente se emplean en estabilizaciones de materiales y en trabajos de recuperación de pavimentos.

Según su contenido de cemento asfáltico en masa, su tipo y polaridad, las emulsiones asfálticas se clasifican como se indica en la Tabla 3 de esta Norma.

B.3. ASFALTOS REBAJADOS

Los asfaltos rebajados, que regularmente se utilizan para la elaboración de carpetas de mezcla en frío, así como en impregnaciones de bases y subbases hidráulicas, son los materiales asfálticos líquidos compuestos por cemento asfáltico y un solvente, clasificados según su velocidad de fraguado como se indica en la Tabla 4 de esta Norma.

NORMAS

N-CMT-4-05-001/05

TABLA 3.- Clasificación de las emulsiones asfálticas

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

TABLA 4.- Clasificación de los asfaltos rebajados

Clasificación	Velocidad de fraguado	Tipo de solvente
FR-3	Rápida	Nafta, gasolina
FM-1	Media	Queroseno

C. REFERENCIAS

Esta Norma se complementa con los siguientes:

MANUALES

DESIGNACIÓN

Muestreo de Materiales Asfálticos M-MMP-4-05-001

SCT

5 de 13
31/05/05

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-05-001/05

Viscosidad Dinámica de Cementos y Residuos Asfálticos	M·MMP·4·05·002
Viscosidad Cinemática de Cementos Asfálticos	M·MMP·4·05·003
Viscosidad Saybolt-Furol en Materiales Asfálticos	M·MMP·4·05·004
Penetración en Cementos y Residuos Asfálticos	M·MMP·4·05·006
Punto de Inflamación Cleveland en Cementos Asfálticos	M·MMP·4·05·007
Solubilidad de Cementos y Residuos Asfálticos	M·MMP·4·05·008
Punto de Reblandecimiento en Cementos Asfálticos	M·MMP·4·05·009
Pruebas en el Residuo de la Película Delgada de Cementos Asfálticos	M·MMP·4·05·010
Ductilidad de Cementos y Residuos Asfálticos	M·MMP·4·05·011
Destilación de Emulsiones Asfálticas	M·MMP·4·05·012
Asentamiento de Emulsiones Asfálticas	M·MMP·4·05·013
Retenido en las Mallas N°20 y N°60 en Emulsiones Asfálticas	M·MMP·4·05·014
Cubrimiento del Agregado en Emulsiones Asfálticas.	M·MMP·4·05·015
Miscibilidad con Cemento Pórtland de Emulsiones Asfálticas	M·MMP·4·05·016
Carga Eléctrica de las Partículas de Emulsiones Asfálticas	M·MMP·4·05·017
Demulsibilidad de Emulsiones Asfálticas	M·MMP·4·05·018
Índice de Ruptura de Emulsiones Asfálticas Catiónicas	M·MMP·4·05·019
Punto de Inflamación Tag en Asfaltos Rebajados	M·MMP·4·05·020
Destilación de Asfaltos Rebajados	M·MMP·4·05·021

D. REQUISITOS DE CALIDAD PARA CEMENTOS ASFÁLTICOS

Los cementos asfálticos deben satisfacer los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 5 de esta Norma.

E. REQUISITOS DE CALIDAD PARA EMULSIONES ASFÁLTICAS

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

NORMAS

N-CMT-4-05-001/05

TABLA 5.- Requisitos de calidad para cemento asfáltico clasificado por viscosidad dinámica a 60°C

Características	Clasificación			
	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30
Del cemento asfáltico original:				
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa·s (P ^[1])	50 ± 10 (500 ± 100)	100 ± 20 (1 000 ± 200)	200 ± 40 (2 000 ± 400)	300 ± 60 (3 000 ± 600)
Viscosidad cinemática a 135°C; mm ² /s, mínimo (1 mm ² /s = 1 centistoke)	175	250	300	350
Viscosidad Saybolt-Furol a 135 °C; s, mínimo	80	110	120	150
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s; 10 ⁻¹ mm, mínimo	140	80	60	50
Punto de inflamación Cleveland; °C, mínimo	177	219	232	232
Solubilidad; %, mínimo	99	99	99	99
Punto de reblandecimiento; °C	37 - 43	45 - 52	48 - 56	50 - 58
Del residuo de la prueba de la película delgada:				
Pérdida por calentamiento; %, máximo	1	0,5	0,5	0,5
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa·s (P ^[1]), máximo	200 (2 000)	400 (4 000)	800 (8 000)	1 200 (12 000)
Ductilidad a 25°C y 5 cm/min; cm, mínimo	100	75	50	40
Penetración retenida a 25 °C; %, mínimo	46	50	54	58

[1] Poises

E.1. PARA LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS ANIÓNICAS

Las emulsiones asfálticas aniónicas, según su clasificación, han de cumplir con todos los requisitos establecidos en la Tabla 6 de esta Norma.

E.2. PARA LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS CATIONICAS

Las emulsiones asfálticas cationicas, según su clasificación, han de cumplir con todos los requisitos establecidos en la Tabla 7 de esta Norma.

F. REQUISITOS DE CALIDAD PARA ASFALTOS REBAJADOS

Los asfaltos rebajados, según su clasificación, deben satisfacer los requisitos establecidos en la Tabla 8 de esta Norma.

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-05-001/05

TABLA 6.- Requisitos de calidad para emulsiones asfálticas aniónicas

Características	Clasificación						
	EAR-55	EAR-60	EAM-60	EAM-65	EAL-55	EAL-60	EAI-60
De la emulsión:							
Contenido de cemento asfáltico en masa; %, mínimo	55	60	60	65	55	60	60
Viscosidad Saybolt-Furol a 25°C; s, mínimo	5	---	---	---	20	20	5
Viscosidad Saybolt-Furol a 50°C; s, mínimo	---	40	50	25	---	---	---
Asentamiento en 5 días; diferencia en %, máximo	5	5	5	5	5	5	5
Retenido en malla N° 20 en la prueba del tamiz; %, máximo	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Pasa malla N° 20 y se retiene en malla N° 60 en la prueba del tamiz; %, máximo	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Cubrimiento del agregado seco; %, mínimo	---	---	90	90	90	90	---
Cubrimiento del agregado húmedo; %, mínimo	---	---	75	75	75	75	---
Miscibilidad con cemento Portland; %, máximo	---	---	---	---	2	2	---
Carga eléctrica de las partículas	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Demulsibilidad; %	60 mín	50 mín	30 máx	30 máx	---	---	---
Del residuo de la destilación:							
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa·s (P ^[1])	50 ± 10 (500 ± 100)	100 ± 20 (1 000 ± 200)	50 ± 10 (500 ± 100)	100 ± 20 (1 000 ± 200)	50 ± 10 (500 ± 100)	100 ± 20 (1 000 ± 200)	50 ± 10 (500 ± 100)
Penetración a 25°C, en 100 g y 5 s; 10 ⁻¹ mm	100-200	50 - 90	100-200	50 - 90	100-200	50 - 90	150 - 250
Solubilidad; %, mínimo	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5
Ductilidad a 25°C; cm, mínimo	40	40	40	40	40	40	40

[1] Poises

G. TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE MATERIALES ASFÁLTICOS

Con el propósito de evitar la alteración de las propiedades de los materiales asfálticos antes de su utilización en la obra, ha de tenerse cuidado en su transporte y almacenamiento, atendiendo los siguientes aspectos:

NORMAS

N-CMT-4-05-001/05

TABLA 7.- Requisitos de calidad para emulsiones asfálticas catiónicas

Características	Clasificación						
	ECR-60	ECR-65	ECR-70	ECM-65	ECL-65	ECI-45	ECS-60
De la emulsión:							
Contenido de cemento asfáltico en masa; %, mínimo	60	65	68	65	65	60	60
Viscosidad Saybolt-Furol a 25°C; s, mínimo	---	---	---	---	25	5	25
Viscosidad Saybolt-Furol a 50°C; s, mínimo	5	40	50	25	---	---	---
Asentamiento en 5 días; diferencia en %, máximo	5	5	5	5	5	10	5
Retenido en malla N° 20 en la prueba del tamiz; %, máx	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Pasa malla N° 20 y se retiene en malla N° 60 en la prueba del tamiz; %, máximo	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Cubrimiento del agregado seco; %, mínimo	---	---	---	90	90	---	90
Cubrimiento del agregado húmedo; %, mínimo	---	---	---	75	75	---	75
Carga eléctrica de las partículas	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
Disolvente en volumen; %, máximo	---	3	3	5	---	15	---
Índice de ruptura; %	< 100	< 100	< 100	80 – 140	> 120	---	> 120
Del residuo de la destilación:							
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa·s (P ¹¹)	50 ± 10 (500 ± 100)	50 ± 10 (500 ± 100)	50 ± 10 (500 ± 100)	50 ± 10 (500 ± 100)	50 ± 10 (500 ± 100)	50 ± 10 (500 ± 100)	50 ± 10 (500 ± 100)
Penetración ^[2] a 25°C, en 100 g y 5 s; 10 ⁻¹ mm	110–250	110–250	110–250	100-250	100-250	100-400	100-250
Solubilidad; %, mínimo	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	---
Ductilidad a 25°C; cm, mínimo	40	40	40	40	40	40	---

[1] Poises

[2] En climas que alcancen temperaturas iguales o mayores de 40°C, la penetración en el residuo de la destilación de las emulsiones ECR-65, ECR-70, ECM-65 y ECL-65, en el proyecto se puede considerar de 50 a 90 × 10⁻¹ mm.

G.1. TRANSPORTE DE MATERIALES ASFÁLTICOS

G.1.1. Los materiales asfálticos se transportarán desde el lugar de adquisición hasta el de almacenamiento, utilizando pipas, carros-tanque de ferrocarril o buques-tanque, que cuenten con los equipos que permitan calentar el producto cuando así se requiera. Los tanques serán herméticos, y tendrán tapas

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-05-001/05

adecuadas para evitar fugas y contaminaciones. El transporte se hará observando las Normas Oficiales Mexicanas aplicables, sujetándose en lo que corresponda, a las leyes y reglamentos de protección ecológica vigentes.

TABLA 8.- Requisitos de calidad para asfaltos rebajados

Características	Grado	
	FM-1	FR-3
Del asfalto rebajado:		
Punto de inflamación Tag; °C, mínimo	38	27
Viscosidad Saybolt-Furol a 50°C; s	75 - 150	---
Viscosidad Saybolt-Furol a 60°C; s	---	250 - 500
Contenido de solvente por destilación a 360°C, en volumen; %		
Hasta 225°C	20 máx	25 mín
Hasta 260°C	25 - 65	55 mín
Hasta 315°C	70 - 90	83 mín
Contenido de cemento asfáltico por destilación a 360°C, en volumen, %, mínimo	60	73
Contenido de agua por destilación a 360°C, en volumen, %, máximo	0,2	0,2
Del residuo de la destilación:		
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa·s ($P^{[1]}$), máximo	200 ± 40 (2 000 ± 400)	200 ± 40 (2 000 ± 400)
Penetración a 25°C, en 100 g y 5 s; 10^{-1} mm	120 - 300	80 - 120
Ductilidad a 25°C; cm, mínimo	100	100
Solubilidad; %, mínimo	99,5	99,5

[1] Poises

G.1.2. Antes de cargar el material asfáltico, los tanques han de ser limpiados cuidadosamente, eliminando residuos de productos transportados anteriormente, grasas, polvo o cualquier otra sustancia que lo pueda contaminar. Una vez cargado el material asfáltico, las tapas y llaves del tanque se sellarán en forma inviolable. Los sellos se retirarán en el momento de la descarga del material en el almacenamiento. No se aceptará el material en el caso de que los sellos hayan sido violados.

G.2. ALMACENAMIENTO DE MATERIALES ASFÁLTICOS

G.2.1. Los materiales asfálticos se almacenarán en depósitos adecuadamente ubicados, con la capacidad suficiente para recibir cada entrega, que reúnan los requisitos necesarios para evitar la contaminación de los productos que contengan, que estén protegidos contra incendios, fugas y pérdida

NORMAS

N-CMT-4-05-001/05

excesiva de disolventes o emulsivos y que cuenten con los equipos adecuados para calentar el producto cuando así se requiera, así como con los elementos necesarios para su carga, descarga y limpieza.

- G.2.2.** Antes de utilizar los depósitos, estos han de ser limpiados cuidadosamente, eliminando natas o residuos de otros productos, materiales extraños o materiales asfálticos de tipo diferente al que se va almacenar. Esta operación se repetirá cada vez que sea necesario para evitar la contaminación del producto.
- G.2.3.** En el caso de emulsiones asfálticas, se utilizarán tanques verticales equipados con dispositivos para la recirculación del material, para evitar lo más posible el asentamiento y la formación de natas.
- G.2.4.** Tratándose de emulsiones asfálticas, con el propósito de que no se contaminen con la nata que pudiera haberse formado sobre la superficie del material previamente almacenado, el llenado de los depósitos de almacenamiento ha de efectuarse desde el fondo de estos, evitando que el producto caiga sobre la superficie del material ya almacenado, rompiendo dicha nata.
- G.2.5.** Cada depósito de almacenamiento se identificará, indicando en un lugar visible, su capacidad, el tipo de material asfáltico que contiene y, cuando se trate de recipientes, origen del material y fecha de producción. Asimismo, para cada depósito, se llevará un registro en el que se indiquen las fechas y volúmenes de los suministros recibidos y de las salidas del material.
- G.2.6.** En el caso de emulsiones de rompimiento rápido, es importante que la temperatura de almacenamiento no sea mayor de ochenta (80) grados Celsius en el punto de contacto.

H. CRITERIOS PARA ACEPTACIÓN O RECHAZO

Para que un material asfáltico sea aceptado por la Secretaría, antes de su utilización, el Contratista de Obra, o el proveedor cuando se trate de emulsiones asfálticas en obras por administración directa, entregará a la Secretaría un certificado de calidad por cada lote o suministro, que

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-05-001/05

garantice el cumplimiento de todos los requisitos establecidos en esta Norma, según el tipo de material asfáltico establecido en el proyecto autorizado por la Secretaría, expedido por su propio laboratorio o por un laboratorio externo. Además, con objeto de controlar la calidad del material asfáltico durante la ejecución de la obra, el Contratista de Obra realizará las pruebas necesarias, en muestras obtenidas como se establece en el Manual M-MMP-4-05-001 *Muestreo de Materiales Asfálticos* y mediante los procedimientos de prueba contenidos en los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma, en el número y con la periodicidad que se establezca en el proyecto autorizado por la Secretaría, que verifiquen que las características indicadas en la Tabla 9 cumplan con los valores establecidos en esta Norma, entregando a la Secretaría los resultados de dichas pruebas.

TABLA 9.- Características de calidad que se deben revisar en los materiales asfálticos durante la ejecución de la obra

Cementos asfálticos	Emulsiones asfálticas	Asfaltos rebajados
En el cemento asfáltico original:	En la emulsión:	En el asfalto rebajado:
<ul style="list-style-type: none">•Viscosidad dinámica a 60°C•Punto de inflamación Cleveland	<ul style="list-style-type: none">•Contenido de cemento asfáltico en masa•Viscosidad Saybolt-Furol a 25 y 50°C•Cubrimiento del agregado seco y húmedo•Carga eléctrica de las partículas	<ul style="list-style-type: none">•Punto de inflamación Tag•Viscosidad Saybolt-Furol a 25 y 50°C•Contenido de solvente por destilación a 360°C•Contenido de cemento asfáltico por destilación a 360°C
En el residuo de la película delgada:	En el residuo de la destilación:	En el residuo de la destilación:
<ul style="list-style-type: none">•Viscosidad dinámica a 60°C•Pérdida por calentamiento•Ductilidad a 25°C y 5 cm/min•Penetración a 25°C, 100 g, 5 s	<ul style="list-style-type: none">•Viscosidad dinámica a 60°C•Ductilidad a 25°C y 5 cm/min•Penetración a 25°C, 100 g, 5 s	<ul style="list-style-type: none">•Viscosidad dinámica a 60°C•Ductilidad a 25°C y 5 cm/min•Penetración a 25°C, 100 g, 5 s

En cualquier momento la Secretaría puede verificar que el material asfáltico suministrado cumpla con cualquiera de los requisitos de calidad establecidos en esta Norma, siendo motivo de rechazo el incumplimiento de cualquiera de ellos.

I. BIBLIOGRAFÍA

Asphalt Institute, *Manual MS-22 Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente*, Lexington, KY, EUA.

NORMAS

N-CMT-4-05-001/05

Asphalt Institute, *Manual 22 Construction of Hot-Mix Asphalt Pavements*, 2ª ed, Lexington, KY, EUA.

Instituto del Asfalto; Departamento del Transporte de los Estados Unidos, Administración Federal de Carreteras; e IPC, *Antecedentes del Diseño y Análisis de Mezclas Asfálticas, Aplicaciones Tecnológicas, Innovaciones a través de Asociaciones*, Asphalt Institute, Lexington, KY, EUA (nov 1994).

PEMEX Refinación, *Especificaciones y Pruebas para Cementos Asfálticos en la Construcción de Pavimentos*, PEMEX, México, DF (1998).

Dirección General de Servicios Técnicos, *Propuesta de Actualización de Normas de Calidad para Emulsiones Asfálticas*, Subsecretaría de Infraestructura, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México, DF (mar 1999).



LIBRO: MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES

PARTE: 4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS

TÍTULO: 05. Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas

CAPÍTULO: 001. Muestreo de Materiales Asfálticos

A. CONTENIDO

Este Manual describe el procedimiento para el muestreo de los materiales asfálticos a que se refiere la Norma N-CMT-4-05-001 *Calidad de Materiales Asfálticos*, a fin de comprobar que éstos cumplan con los requisitos de calidad establecidos en dicha Norma.

B. DEFINICIÓN

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 además las operaciones de envase, identificación y transporte de las muestras.

C. REFERENCIAS

Este Manual se complementa con la última versión de la Norma N-CMT-4-05-001 *Calidad de Materiales Asfálticos*.

D. 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:

D.1. CONSIDERACIONES PREVIAS

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.

D.2. EQUIPO

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.

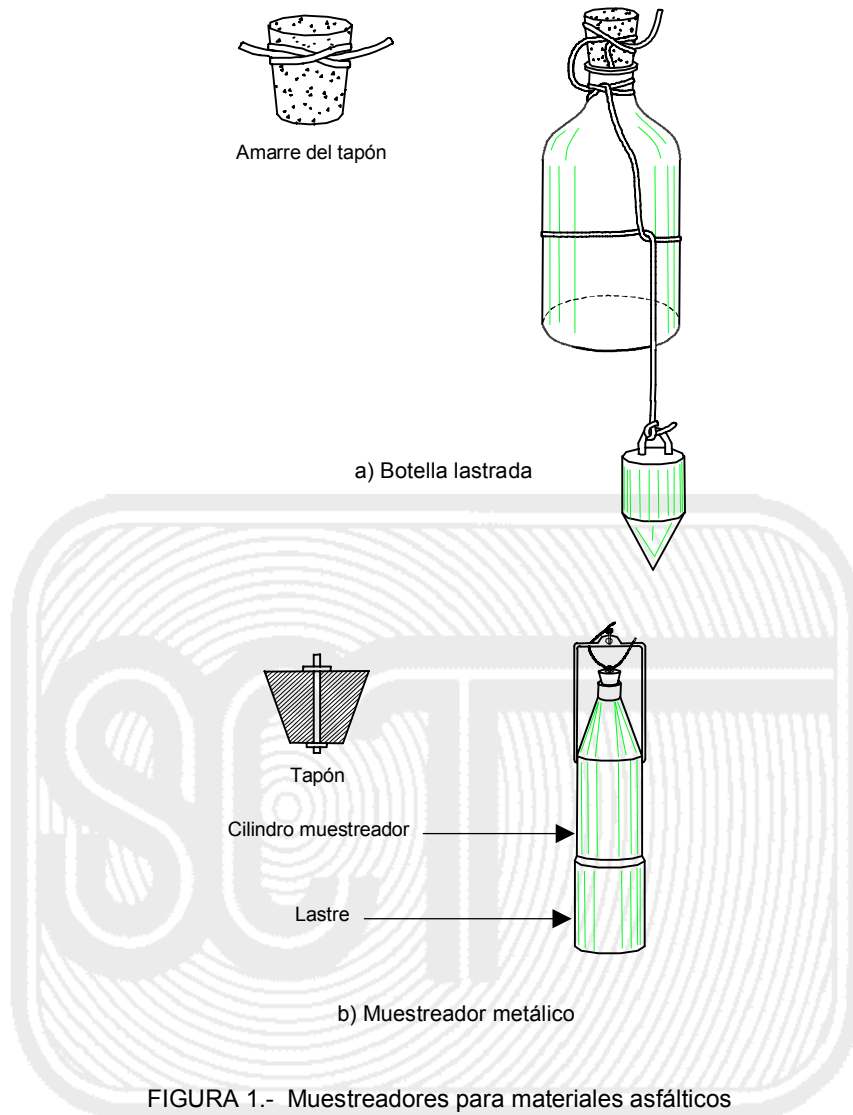


FIGURA 1.- Muestreadores para materiales asfálticos

D.3. OBTENCIÓN DE LA MUESTRA

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

- D.3.1.** 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.
- D.3.2.** 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 ^[1]	Nivel de muestreo en por ciento del tirante máximo ^[1]			Número total de muestras ^[2]
	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 ^[3]	---	---	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.

D.3.3. 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:

D.3.3.1. 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 de este Manual.

D.3.3.2. Si se trata de tanques cilíndricos horizontales, la muestra integral se forma de acuerdo con lo indicado en la Tabla 2 de este Manual.

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

E. 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:

E.1. CONSIDERACIONES PREVIAS

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.

E.2. EQUIPO

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 describe en la Fracción D.2. de este Manual o bien, si está en estado sólido o semisólido, herramientas como hacha, martillo y espátula.

E.3. 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:

- E.3.1.** 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 (L_o)	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	$n \approx \sqrt[3]{L_o}$

- E.3.2.** En cada uno de los depósitos seleccionados de materiales asfálticos líquidos, se procede como se indica en la Fracción D.3. de este Manual, 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.

- E.3.3.** 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 en el Inciso E.3.1. de este Manual, se toman muestras de aproximadamente 2 kg, a una profundidad mayor de 10 cm de la superficie del material asfáltico, en su parte central.

F. 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.

G. ENVASE, IDENTIFICACIÓN, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO

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

G.1. ENVASE

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.

G.2. IDENTIFICACIÓN

G.2.1. 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 $\pm 1^{\circ}\text{C}$.
- Nivel a que se tomó la muestra
- Observaciones
- Fecha y hora del muestreo

G.2.2. Los datos indicados en el Inciso anterior también se anotan en una libreta de campo, así como todas las observaciones que se consideren necesarias.

G.3. 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.

LIBRO: **MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES**

PARTE: **4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS**

TÍTULO: 05. Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas

CAPÍTULO: 004. Viscosidad Saybolt-Furol en Materiales Asfálticos

A. CONTENIDO

Este Manual describe el procedimiento de prueba para obtener la viscosidad Saybolt-Furol de los materiales asfálticos a que se refieren las Normas N-CMT-4-05-001 *Calidad de Materiales Asfálticos* y N-CMT-4-05-002 *Calidad de Materiales Asfálticos Modificados*, en muestras tomadas conforme al Manual M-MMP-4-05-001 *Muestreo de Materiales Asfálticos*.

B. OBJETIVO DE LA PRUEBA

Esta prueba permite conocer la consistencia de los materiales asfálticos mediante sus características de flujo a una temperatura de 135°C para los cementos, de 25 y 50°C para las emulsiones y de 50 y 60°C para los asfaltos rebajados, pudiéndose hacer a otras temperaturas, con el propósito de estudiar la susceptibilidad al calor de los materiales asfálticos y determinar las viscosidades apropiadas para su utilización.

La prueba consiste en determinar el tiempo que tardan en pasar 60 cm³ del material a probar a través de un orificio Furol, instalado en un tubo de viscosidad Saybolt, bajo condiciones de carga y temperatura preestablecidas.

C. REFERENCIAS

Este Manual se complementa con las siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Calidad de Materiales Asfálticos	N-CMT-4-05-001
Calidad de Materiales Asfálticos Modificados	N-CMT-4-05-002
Muestreo de Materiales Asfálticos.....	M-MMP-4-05-001

D. EQUIPO Y MATERIALES

El equipo para la ejecución de la prueba ha de estar en condiciones óptimas para su uso, limpio, completo en todas sus partes y sin desgaste. Todos los materiales a emplear deben ser de primera calidad y de reciente adquisición.

D.1. VISCOSÍMETRO SAYBOLT - FUROL

Integrado por:

- Un tubo de viscosidad Saybolt y boquilla con orificio FuroI, ambos de metal resistente a la corrosión, con la forma y dimensiones indicadas en la Figura 1 de este Manual. El tubo estará provisto con una tuerca en su parte inferior para fijarlo en posición vertical en el recipiente del baño y con un tapón de corcho u otro dispositivo similar que impida el flujo del material asfáltico, que tenga un cordón o cadena para facilitar su remoción.
- Una tapa metálica para el tubo de viscosidad, que consiste en una placa circular biselada, con diámetro inferior de aproximadamente 56 mm y 7 mm de espesor, con un orificio en el centro con diámetro ligeramente mayor que el del termómetro.
- Un baño de aceite, acondicionado para mantener el nivel del líquido en su interior 6 mm arriba del borde de derrame del tubo de viscosidad, y adaptado para sujetar dicho tubo en posición vertical. Estará equipado con un agitador, un sistema de control de temperatura con capacidad hasta de 235°C con aproximación de 0,2°C y una fuente de calor alejada por lo menos 3 cm del tubo de viscosidad.

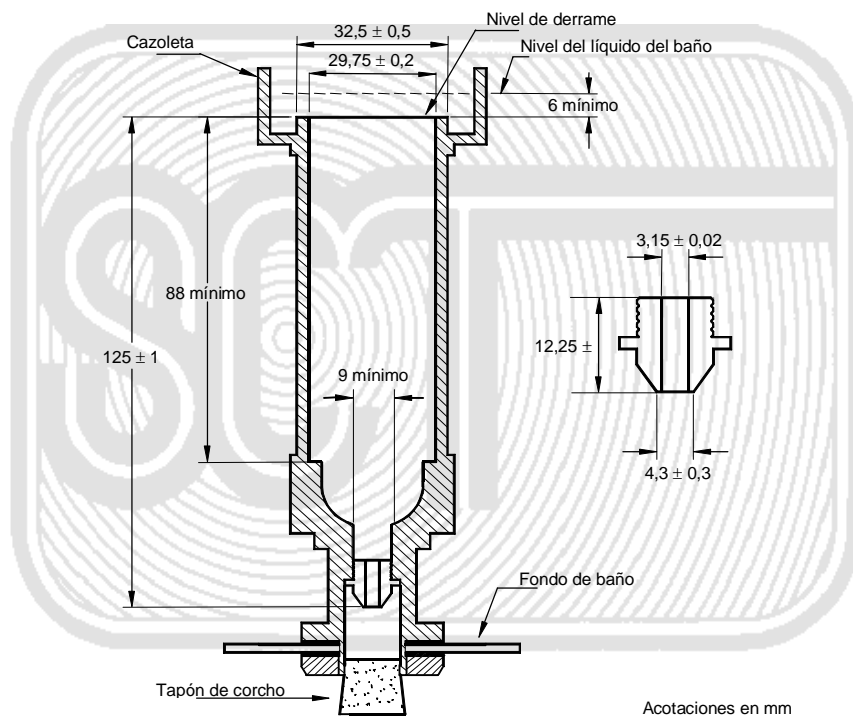


Figura 1.- Tubo de viscosidad Saybolt y boquilla con orificio FuroI

D.2. MATRAZ DE VIDRIO

De la forma y dimensiones indicadas en la Figura 2 de este Manual, con capacidad de $60 \pm 0,05$ cm³, aforado a la temperatura de 20°C, con la marca de aforo en el cuello.

D.3. EQUIPO PARA FILTRADO

Se requiere de un embudo de la forma y dimensiones indicadas en la Figura 3 de este Manual, de metal resistente a la corrosión y provisto de una malla N° 20 (850 µm de abertura) cuando se prueben cementos asfálticos o N° 100 (150 µm de abertura) para asfaltos rebajados, fijada al embudo mediante un sujetador. Cuando se trate de emulsiones asfálticas, únicamente se requiere una malla N° 20 (850 µm de abertura) o tela de alambre con la misma abertura, montada en un marco.

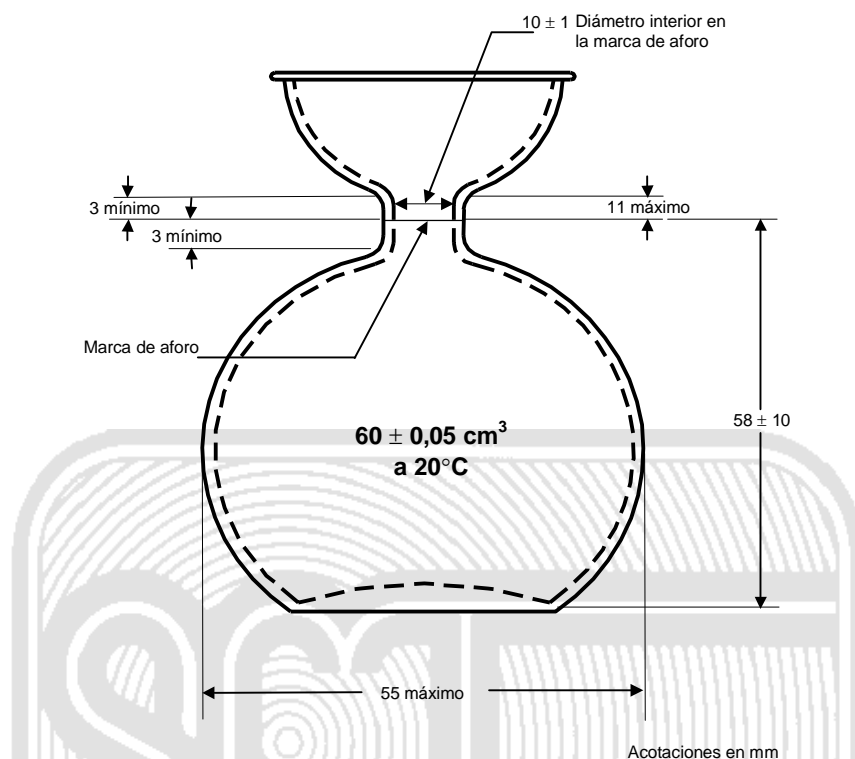


FIGURA 2.- Matraz aforado

D.4. TERMÓMETROS

Según el tipo de material por probar se requieren los siguientes termómetros:

- Cuando se prueben cementos asfálticos, un termómetro de inmersión total, con rango de 95 a 155°C y aproximación de 0,2°C.
- Cuando se prueben emulsiones asfálticas, dos termómetros de inmersión total, uno con rango de 15 a 30°C y otro de 45 a 65°C, ambos con aproximación de 0,1°C.
- Cuando se prueben asfaltos rebajados, un termómetro de inmersión parcial, con rango de -7 a 110°C y aproximación de 0,5°C.

D.5. PARRILLA ELÉCTRICA

De aproximadamente 20 cm de diámetro, con capacidad de 1 200 W, provista de control termostático.

D.6. CRONÓMETRO

Con aproximación de 1 s.

D.7. VASO DE PRECIPITADO

Para realizar la prueba en emulsiones asfálticas, además de lo ya mencionado, se requiere de un vaso de precipitado, de vidrio refractario y 400 cm³ de capacidad.

D.8. LÍQUIDO PARA LLENAR EL BAÑO

Cuando se efectúen pruebas en cementos asfálticos a temperatura entre 120 y 150°C, el líquido para llenar el baño será aceite de grado 40 (SAE) o, si las temperaturas son superiores, aceite con viscosidad Saybolt-Furol de 17,5 a 18,5 s, a 99°C y punto de inflamación en copa abierta de Cleveland 357°C. Cuando se prueben emulsiones asfálticas o asfaltos rebajados, el baño se llenará con agua en lugar de aceite.

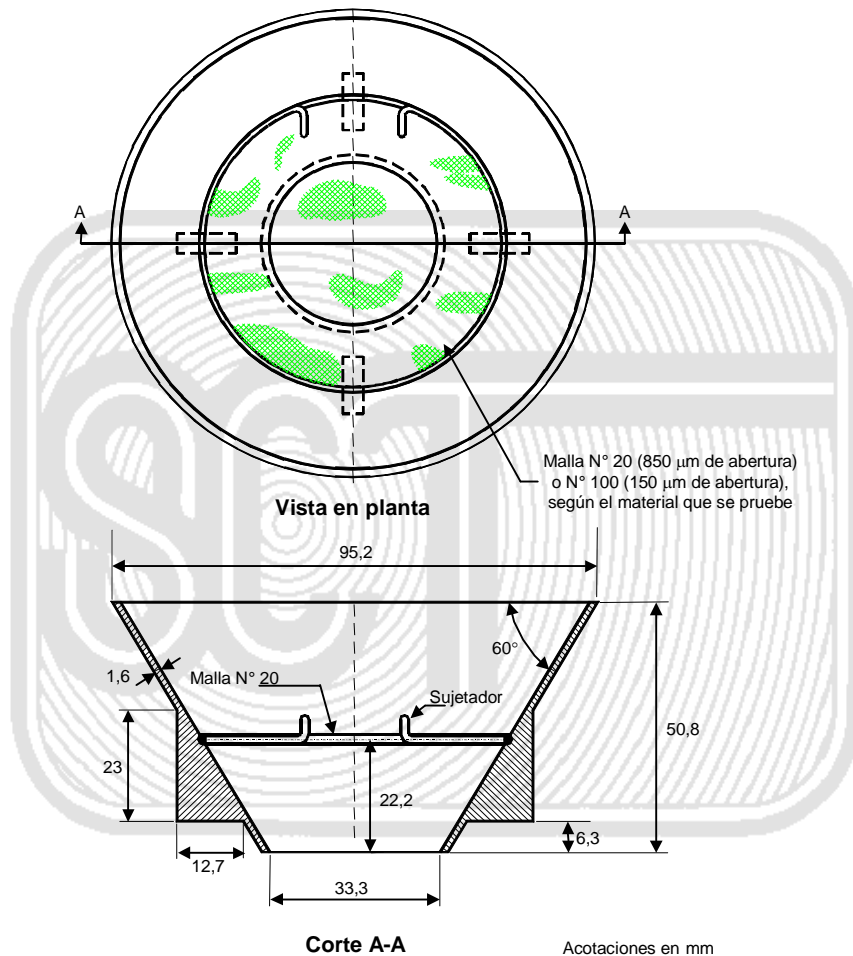


FIGURA 3.- Embudo para filtrado

E. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

La preparación de la muestra de material asfáltico, obtenida según se establece en el Manual M-MMP-4-05-001 *Muestreo de Materiales Asfálticos*, se hace de la siguiente manera:

E.1. DE CEMENTOS ASFÁLTICOS

Se colocan 450 g de la muestra de cemento asfáltico en un recipiente y para fluidificarla se calienta hasta alcanzar una temperatura superior en 15°C a la de prueba, agitándola de vez en cuando, excepto durante los últimos 30°C de calentamiento, cuando el agitado será continuo. El tiempo de calentamiento no será mayor de 2 h y la muestra solamente se debe calentar una vez.

E.2. DE EMULSIONES ASFÁLTICAS

La muestra de emulsión asfáltica por probar se homogeneiza mediante agitación moderada, evitando la formación de burbujas de aire y se vierten de ella 100 cm³ en el vaso de precipitado.

E.3. DE ASFALTOS REBAJADOS

Se colocan 150 g de la muestra de asfalto rebajado en un recipiente y se calienta hasta alcanzar una temperatura superior en 2°C a la de prueba, agitándola continuamente para uniformar la temperatura y evitar sobrecalentamientos locales.

F. PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA

F.1. EN CEMENTOS ASFÁLTICOS O ASFALTOS REBAJADOS

Para realizar la prueba en cementos asfálticos o asfaltos rebajados, se procede de la siguiente manera:

- F.1.1. Se llena el baño del viscosímetro con el aceite adecuado para la temperatura a la cual se efectuará la prueba o con agua si se trata de un asfalto rebajado.
- F.1.2. Se limpia el tubo de viscosidad con xilol o petróleo diáfano y se seca perfectamente antes de utilizarlo. Para facilitar esta limpieza, después de cada prueba el tubo de viscosidad se llena con aceite, se vacía y enseguida se limpia con xilol.
- F.1.3. Una vez limpiado el tubo de viscosidad, se le inserta el tapón de corcho en su parte inferior, de manera que penetre de 6 a 9 mm, cuidando que ajuste herméticamente para evitar pérdidas de la muestra de prueba.
- F.1.4. Se ajusta el baño del viscosímetro a una temperatura ligeramente inferior a la seleccionada para la prueba; se entibian y secan el tubo de viscosidad y el embudo con la malla N° 20 cuando se trate de cemento asfáltico o N° 100 para asfalto rebajado. A continuación se vierte en el tubo de viscosidad la muestra preparada, filtrándola a través de la malla, hasta que se derrame en la cazoleta; se coloca la tapa y se inserta el termómetro a través del orificio central de la misma.
- F.1.5. Se agita la muestra continuamente con el termómetro, dándole a éste un movimiento circular y evitando movimientos verticales que pudieran provocar la formación de burbujas, teniendo cuidado de no golpear el fondo del tubo de viscosidad para no presionar el asfalto a través del orificio de la boquilla; se ajusta la temperatura del baño hasta que la muestra alcance la temperatura de prueba y se establezca el equilibrio térmico.
- F.1.6. Cuando la temperatura de la muestra permanezca constante durante 1 min de agitado continuo, con una discrepancia no mayor de 0,3°C respecto a la temperatura de prueba, se retirara la tapa para verificar que la muestra dentro de la cazoleta no llegue al nivel de derrame y se vuelve a colocar la tapa.
- F.1.7. Inmediatamente después se coloca el matraz debajo del tubo de viscosidad, se retira el tapón de corcho y simultáneamente se pone en marcha el cronómetro, el cual se detiene en el momento en que la muestra alcance la marca de aforo de 60 cm³ del matraz y se registra el tiempo medido. El tiempo transcurrido desde que se inicia el llenado del tubo de viscosidad hasta que empiece el llenado del matraz no debe ser mayor de 15 min.

F.2. EN EMULSIONES ASFÁLTICAS

Para realizar la prueba en emulsiones asfálticas se procede de la siguiente manera:

- F.2.1.** Se llena el baño del viscosímetro con agua.
- F.2.2.** Se limpia el tubo de viscosidad con xilol o petróleo diáfano y se seca perfectamente antes de utilizarlo. Para facilitar esta limpieza, después de cada prueba el tubo de viscosidad se llena con aceite, se vacía y enseguida se limpia con xilol.
- F.2.3.** Una vez limpiado el tubo de viscosidad, se le inserta el tapón de corcho en su parte inferior, de manera que penetre de 6 a 9 mm, cuidando que ajuste herméticamente para evitar pérdidas de la muestra de prueba.
- F.2.4.** Dependiendo de la temperatura a la que se realice la prueba, se calienta el baño del viscosímetro y la muestra de la emulsión asfáltica como se indica a continuación:

F.2.4.1. Para prueba a 25°C

Se ajusta el baño a una temperatura de 25°C. A continuación se coloca en éste, durante 30 min, el vaso de precipitado que contiene la muestra de emulsión asfáltica de manera que su fondo quede abajo del nivel del agua aproximadamente 5 cm y se agita periódicamente su contenido, con movimientos circulares del termómetro a razón de aproximadamente 60 revoluciones por minuto, evitando la formación de burbujas. Transcurrido el lapso mencionado se procede como se indica en el Inciso F.2.5. de este Manual.

F.2.4.2. Para prueba a 50°C

Se ajusta el baño a una temperatura de $60 \pm 3^\circ\text{C}$. A continuación se coloca en éste, el vaso de precipitado que contiene la muestra de emulsión asfáltica de manera que su fondo quede abajo del nivel del agua aproximadamente 5 cm y se agita periódicamente su contenido, con movimientos circulares del termómetro a razón de aproximadamente 60 revoluciones por minuto, evitando la formación de burbujas. En las condiciones mencionadas se mantiene la muestra hasta que alcance una temperatura de $51,4 \pm 0,3^\circ\text{C}$ y se procede como se indica en el Inciso siguiente.

- F.2.5.** Se vierte en el tubo de viscosidad la muestra de emulsión asfáltica calentada como se indica en el Incisos F.2.4. de este Manual, filtrándola a través de la malla N° 20 o la tela de alambre, previamente entibiada y seca, hasta que la emulsión asfáltica se derrame en la cazoleta; se coloca la tapa y se inserta el termómetro a través del orificio central de la misma.
- F.2.6.** Se agita la muestra continuamente con el termómetro, dándole a éste un movimiento circular y evitando movimientos verticales que pudieran provocar la formación de burbujas, teniendo cuidado de no golpear el fondo del tubo de viscosidad para no presionar la emulsión a través del orificio de la boquilla; se ajusta la temperatura del baño hasta que la muestra alcance la temperatura de prueba y se establezca el equilibrio térmico.
- F.2.7.** Cuando la temperatura de la muestra permanezca constante durante 1 min de agitado continuo, con una discrepancia no mayor de $0,1^\circ\text{C}$ respecto a la temperatura de prueba, se retira la tapa para verificar que la muestra dentro de la cazoleta no llegue al nivel de derrame y se vuelve a colocar la tapa.
- F.2.8.** Inmediatamente después se coloca el matraz debajo del tubo de viscosidad, se retira el tapón de corcho y simultáneamente se pone en marcha el cronómetro, el cual se detiene en el momento en que la muestra alcance la marca de aforo de 60 cm^3 del matraz y se registra el tiempo medido. El lapso desde que se inicia el llenado del tubo de viscosidad hasta que empiece el llenado del matraz no debe ser mayor de 15 min.

G. CALCULOS Y RESULTADOS

Se reporta como viscosidad Saybolt-Furol de la muestra, el tiempo en segundos que tarda en llenarse el matraz con el material asfáltico hasta la marca de aforo, indicando también la temperatura de prueba.

H. PRECAUCIONES PARA EVITAR ERRORES

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

- H.1.** Realizar la prueba en lugares en que no se produzcan corrientes de aire ni cambios bruscos de temperatura.
- H.2.** Que durante el llenado del matraz, el asfalto escurra por la pared de su cuello, para evitar la formación de espuma o burbujas de aire.
- H.3.** Que las paredes interiores del baño y del tubo de viscosidad no tengan carbón u otras impurezas, verificándolo periódicamente.



LIBRO: **MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES**

PARTE: **4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS**

TÍTULO: 05. Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas

CAPÍTULO: 005. Viscosidad Rotacional Brookfield de Cementos Asfálticos

A. CONTENIDO

Este Manual describe el procedimiento de prueba para determinar la viscosidad rotacional Brookfield de los cementos asfálticos, a que se refiere la Norma N-CMT-4-05-002, *Calidad de Materiales Asfálticos Modificados*, en muestras tomadas conforme al Manual M-MMP-4-05-001, *Muestreo de Materiales Asfálticos*.

B. OBJETIVO DE LA PRUEBA

Esta prueba permite determinar la consistencia de los cementos asfálticos, en un rango de 38 a 260°C, mediante la determinación de la resistencia que ofrece una muestra de prueba a la deformación. La prueba consiste en determinar el par de torsión que es necesario aplicar en un eje rotacional, en el seno de una muestra de prueba colocada dentro de un contenedor, bajo condiciones controladas de temperatura, para que gire a una cierta velocidad.

C. REFERENCIAS

Este Manual se complementa con la Norma N-CMT-4-05-002, *Calidad de Materiales Asfálticos Modificados* y el Manual M-MMP-4-05-001, *Muestreo de Materiales Asfálticos*.

D. EQUIPO

El equipo para la ejecución de la prueba estará en condiciones de operación, calibrado, limpio y completo en todas sus partes.

El equipo Brookfield Thermosel es como el mostrado en la Figura 1 de este Manual y cuenta con:

- D.1.** Viscosímetro Brookfield estándar. Dependiendo del rango de viscosidad, puede ser modelo tipo LV, RV, HA o HB, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.
- D.2.** Sistema de lectura digital.
- D.3.** Extensión de guía y rotor.
- D.4.** Sistema Thermosel formado por un contenedor y una cámara de prueba térmicos; un controlador de temperatura y un dispositivo graficador.

E. PREPARACIÓN DEL EQUIPO

- E.1.** Previamente a la realización de la prueba, el equipo estará debidamente calibrado, considerando las instrucciones del fabricante.

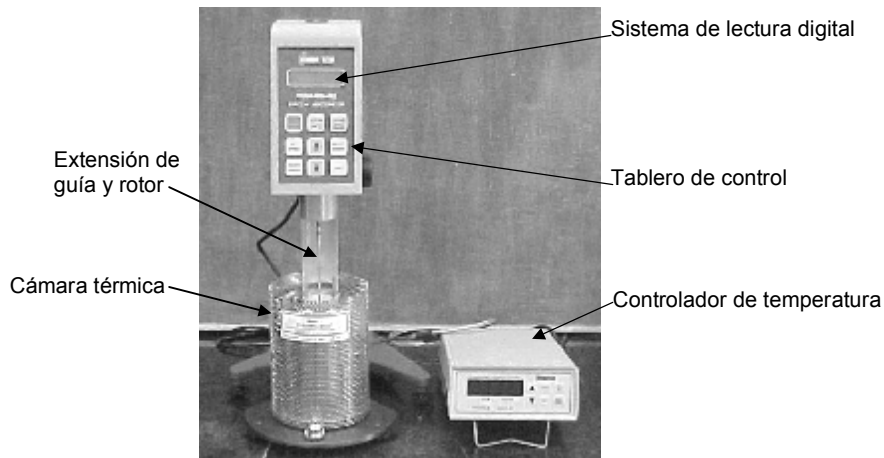


FIGURA 1.- Viscosímetro digital Brookfield

- E.2. Se selecciona el rotor adecuado de acuerdo con las recomendaciones del fabricante y se coloca éste en la cámara de prueba.
- E.3. Se fijan los controles para precalentar el equipo hasta la temperatura de prueba y se espera por aproximadamente 1,5 h o hasta que la temperatura de equilibrio se haya alcanzado en la cámara de prueba y el rotor.
- E.4. Se retira la cámara de prueba y se vierte en ella la muestra como se indica en la siguiente Cláusula.

F. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

La preparación de la muestra de cemento asfáltico, obtenida según se establece en el Manual M-MMP-4-05-001, *Muestreo de Materiales Asfálticos*, se hace de la siguiente manera:

- F.1. Se evita el sobrecalentamiento de la muestra o su inflamación.
- F.2. Se elige el volumen de la muestra de prueba, entre de 8 y 10 mL, según el rotor seleccionado y de acuerdo con las recomendaciones del fabricante del equipo; se puede calcular la masa de muestra necesaria considerando su masa específica o densidad.
- F.3. Se evita exceder el llenado del contenedor, ya que el resultado de la prueba es muy sensible a la cantidad de muestra que se utilice. El nivel superior de la muestra debe interceptar al brazo del rotor, aproximadamente 3,2 mm arriba de la parte superior de la interfase entre el cuerpo cónico del rotor y su brazo.
- F.4. Se agita suficientemente la muestra para homogeneizarla.

G. PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA

Si la prueba se va a realizar a distintas temperaturas, se inicia con la temperatura menor. Se sigue el procedimiento que se describe a continuación para cada una de las temperaturas.

- G.1. Una vez preparada la muestra, se coloca de nuevo la cámara de prueba en el contenedor térmico.
- G.2. Se ajusta el rotor introduciéndolo despacio y con cuidado hasta que esté sumergido a la profundidad indicada; entonces se mueve la cámara de prueba en un plano horizontal hasta que el rotor esté localizado aproximadamente en el centro de la misma. Es posible que para seleccionar el rotor adecuado, sea necesario realizar la prueba con distintos rotores.

- G.3.** Se deja reposar la muestra de prueba aproximadamente 15 min, para permitir que se equilibre su temperatura.
- G.4.** Si se utilizan modelos tipo RV, HA o HB, se hace funcionar el viscosímetro a 20 rpm; si se trata de modelos tipo LV, se hace rotar a 12 rpm, de acuerdo con lo indicado por el fabricante del equipo. Si la lectura del aparato está entre 2 y 98 unidades, se hacen y registran tres lecturas a intervalos de 60 s.
- G.5.** Si la lectura es mayor de 98 unidades, se disminuye la velocidad del rotor. Si la lectura sigue siendo mayor de 98, se cambia el rotor por el siguiente más pequeño. Al hacer esto, es necesario ajustar el volumen de la muestra de prueba, como se indica en la Fracción F.3. de este Manual. Cuando la lectura esté entre 2 y 98, se registran las lecturas como se indica en la Fracción anterior.

H. CÁLCULOS Y RESULTADOS

Se reporta como resultado de esta prueba, en Pa·s, el promedio de las lecturas observadas en el viscosímetro para cada temperatura de prueba, indicando el número de rotor utilizado. En caso necesario, se harán las conversiones de unidades necesarias, de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

I. PRECAUCIONES PARA EVITAR ERRORES

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

- I.1.** Realizar la prueba en un lugar cerrado, con ventilación indirecta, limpio y libre de corrientes de aire, de cambios de temperatura y de partículas que provoquen la contaminación de las muestras de prueba.
- I.2.** Verificar que el equipo esté calibrado de acuerdo con las instrucciones del fabricante.
- I.3.** Mantener constante la velocidad del rotor durante la lectura de las mediciones.
- I.4.** Cuidar que todo el equipo esté perfectamente limpio, para que al hacer la prueba la muestra no se mezcle con agentes extraños y se altere el resultado. Se cuida de manera especial la limpieza del rotor. Después de cada determinación, el equipo se limpia utilizando una estopa impregnada con un disolvente apropiado.

LIBRO: **MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES**

PARTE: **4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS**

TÍTULO: 05. Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas

CAPÍTULO: 006. Penetración en Cementos y Residuos Asfálticos

A. CONTENIDO

Este Manual describe el procedimiento de prueba para determinar la consistencia de los materiales asfálticos a que se refieren las Normas N-CMT-4-05-001, *Calidad de Materiales Asfálticos* y N-CMT-4-05-002, *Calidad de Materiales Asfálticos Modificados*, en muestras tomadas conforme al Manual M-MMP-4-05-001, *Muestreo de Materiales Asfálticos*.

B. OBJETIVO DE LA PRUEBA

Esta prueba permite determinar la consistencia de los cementos asfálticos, así como de los residuos por destilación de las emulsiones y asfaltos rebajados, mediante la penetración vertical de una aguja en una muestra de prueba de dichos materiales bajo condiciones establecidas de masa, tiempo y temperatura.

C. REFERENCIAS

Este Manual se complementa con las últimas versiones de las siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Calidad de Materiales Asfálticos	N-CMT-4-05-001
Calidad de Materiales Asfálticos Modificados	N-CMT-4-05-002
Muestreo de Materiales Asfálticos	M-MMP-4-05-001
Destilación de Emulsiones Asfálticas	M-MMP-4-05-012
Destilación de Asfaltos Rebajados	M-MMP-4-05-021

D. EQUIPO

El equipo para la ejecución de la prueba debe estar en condiciones óptimas para su uso, calibrado, limpio, completo en todas sus partes y sin desgaste.

El equipo necesario es el siguiente:

D.1. APARATO DE PENETRACIÓN O PENETRÓMETRO PARA ASFALTOS

Como el mostrado en la Figura 1, capaz de sujetar una aguja como las referidas en la Fracción D.2. de este Manual y provisto de un dispositivo para medir la profundidad de penetración de la aguja, en décimos de milímetro. También contará con un mecanismo que permita aproximar la aguja a la muestra de prueba y con pesas o lastres de 50 y 100 g.



FIGURA 1.- Penetrómetro para la prueba de penetración

D.2. AGUJAS

De acero inoxidable, totalmente endurecidas y perfectamente pulidas, con la forma y dimensiones que se muestran en la Figura 2 de este Manual, que se acoplen al penetrómetro mediante un casquillo de bronce o de acero inoxidable, sobresaliendo de éste último entre 40 y 45 mm.

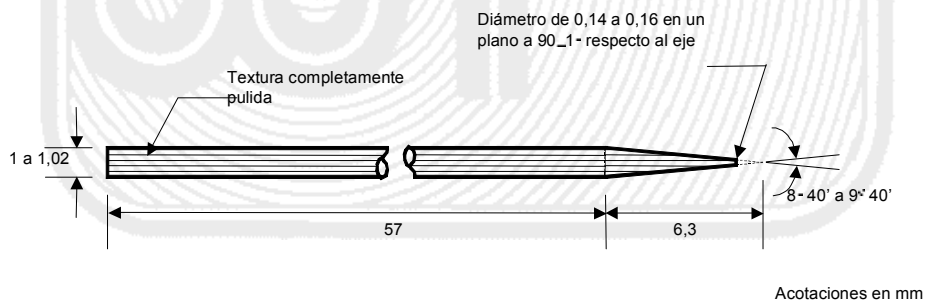


FIGURA 2.- Aguja para la prueba de penetración

D.3. CÁPSULA DE PENETRACIÓN

De metal o de vidrio refractario, de forma cilíndrica y con el fondo plano; con diámetro interior de 55 mm y altura interior de 35 mm, para penetraciones menores de 200×10^{-1} mm; o diámetro interior de 70 mm y altura interior de 45 mm para penetraciones entre 200 y 350×10^{-1} mm.

D.4. BAÑO DE AGUA

Con temperatura controlable hasta 50°C y aproximación de 0,1°C, con dimensiones y características tales que le permitan una capacidad mínima de 10 L. Estará provisto de un entrepaño con perforaciones, colocado a no menos de 5 cm del fondo del baño y a no menos de 10 cm de la superficie libre del líquido.

D.5. TERMÓMETRO

Con rango de 0 a 50°C y aproximación de 1°C.

D.6. CRONÓMETRO

Con aproximación de 0,2 s.

D.7. RECIPIENTE DE MANEJO

De metal, plástico o vidrio, de forma cilíndrica adecuada para manejar y mantener sumergida la cápsula de penetración que contenga la muestra de prueba; de 350 cm³ de capacidad y con relieves en el fondo para evitar que la muestra que contiene se mueva durante el proceso de ensaye.

D.8. MALLA N°50

De 300 µm de abertura, cuando se prueben residuos por destilación de emulsiones asfálticas.

D.9. ESPÁTULA DE NÍQUEL

De 20 cm de longitud, cuando se prueben residuos por destilación.

E. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

La muestra de prueba, según se trate de cemento asfáltico o del residuo por destilación, se prepara como se indica a continuación:

E.1. MUESTRA DE CEMENTO ASFÁLTICO

De la muestra de cemento asfáltico, obtenida según se establece en el Manual M-MMP-4-05-001, *Muestreo de Materiales Asfálticos*, se toma una porción de volumen ligeramente mayor al de la cápsula de penetración y se calienta en un recipiente apropiado, agitándola en forma continua con el objeto de distribuir la temperatura uniformemente, hasta que adquiera la fluidez suficiente para facilitar su vaciado en dicha cápsula, cuidando que durante su calentamiento no se formen burbujas de aire, que la temperatura alcanzada no exceda de 130°C y que esta operación se realice en un lapso menor de 30 min. Hecho esto, inmediatamente se llena la cápsula con la muestra de prueba, se cubre adecuadamente para protegerla del polvo y se deja enfriar hasta que alcance la temperatura ambiente.

E.2. 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 M-MMP-4-05-012, *Destilación de Emulsiones Asfálticas*, se destapa el alambique utilizado en esa prueba, se homogeneiza su contenido con la espátula y se llena la cápsula de penetración vertiendo el residuo a través de la malla N° 50, se cubre adecuadamente para protegerla del polvo y se deja enfriar hasta que alcance la temperatura ambiente.

E.3. 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 M-MMP-4-05-021, *Destilación de Asfaltos Rebajados* y tan pronto como deje de vaporizar en la cápsula metálica utilizada en esa prueba, se homogeneiza con la espátula y se llena la cápsula de penetración, se cubre adecuadamente para protegerla del polvo y se deja enfriar hasta que alcance la temperatura ambiente.

F. PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA

La prueba se realiza en la forma siguiente:

- F.1.** Se coloca la cápsula de penetración que contiene la muestra de prueba dentro del recipiente de manejo, para introducirlos posteriormente en el baño de agua, cuando éste mantenga una temperatura de 25°C o la que se especifique para la prueba. Se sumerge dicho recipiente completamente y se mantiene así por espacio de 2 h, con objeto de que el producto asfáltico adquiera esa temperatura.
- F.2.** Se coloca el penetrómetro sobre una superficie plana, firme y sensiblemente horizontal, se le acopla la aguja y se lastra para que el elemento que se desplaza tenga una masa de 100 + 0,1 g o la masa que se especifique para la prueba y finalmente se nivela perfectamente el penetrómetro.
- F.3.** Se saca del baño de agua el recipiente de manejo, el cual contiene la muestra de prueba en su cápsula de penetración, cuidando que tenga agua suficiente para cubrir completamente la cápsula. Se colocan el recipiente y la cápsula sobre la base del penetrómetro, de tal manera que la muestra quede bajo la aguja. Se ajusta la altura de la aguja hasta que haga contacto con la superficie de la muestra, lo que se logra haciendo coincidir la punta de la aguja con la de su imagen reflejada en la superficie de la muestra.
- F.4.** Se hace coincidir la manecilla del penetrómetro con el cero de su carátula, hecho esto se oprime el sujetador para liberar la aguja únicamente durante 5 s o durante el tiempo que se especifique para la prueba, después de lo cual se toma la lectura registrándola en décimos de milímetro.
- F.5.** Se deben hacer por lo menos tres penetraciones sobre puntos diferentes de la superficie de la muestra de prueba, separados entre sí y de la pared de la cápsula de penetración 10 mm como mínimo. Se limpiará cuidadosamente la aguja después de cada penetración sin desmontarla y, de ser necesario, para ajustar la temperatura a 25°C o a la especificada para la prueba, se regresará el recipiente de manejo con la muestra al baño de agua. Para la limpieza de la aguja se utilizará un paño humedecido con tricloroetileno, y después un paño seco y limpio.
- F.6.** Para materiales asfálticos suaves, con penetraciones mayores de 225×10^{-1} mm, se tienen que emplear por lo menos tres agujas, las que se deben ir dejando introducidas en la muestra de prueba al hacer las penetraciones.

G. CALCULOS Y RESULTADOS

Se reporta como resultado de la prueba, el promedio de las profundidades a las que haya entrado la aguja en por lo menos tres penetraciones, expresadas en décimos de milímetro y con aproximación a la unidad, valor conocido también como *grado de penetración*. Las penetraciones utilizadas para el cálculo del promedio, deben estar dentro de las diferencias permisibles mostradas en la Tabla 1 de este Manual, de lo contrario la prueba se repetirá. En el reporte quedarán asentados la temperatura, la masa y el tiempo de penetración con los que se realice la prueba.

H. PRECAUCIONES PARA EVITAR ERRORES

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

- H.1.** Tener especial cuidado en realizar la prueba bajo las condiciones de temperatura, masa y tiempo de penetración que se especifiquen.
- H.2.** Cuidar que no exista aire atrapado en la muestra de prueba.
- H.3.** Confirmar que la aguja esté perfectamente limpia en el momento de la penetración.

TABLA 1.- Diferencias permisibles entre los valores de penetración considerados para el cálculo de resultados

Unidades en 1×10^{-1} mm
(Grados de penetración)

Valor de la penetración	Diferencias permisibles
0 - 49	2
50 - 149	4
150 - 249	6
250 ó más	8

- H.4.** Verificar que la aguja esté en contacto con la superficie de la muestra de prueba al iniciar la penetración.
- H.5.** Cuidar que la aguja no toque el fondo del recipiente antes de finalizar el tiempo especificado.



LIBRO: **MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES**

PARTE: **4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS**

TÍTULO: 05. Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas

CAPÍTULO: 007. Punto de Inflamación Cleveland en Cementos Asfálticos

A. CONTENIDO

Este Manual describe el procedimiento de prueba para determinar el punto de inflamación en la copa abierta de Cleveland, de los cementos asfálticos a que se refieren las Normas N-CMT-4-05-001, *Calidad de Materiales Asfálticos* y N-CMT-4-05-002, *Calidad de Materiales Asfálticos Modificados*, en muestras tomadas conforme al Manual M-MMP-4-05-001, *Muestreo de Materiales Asfálticos*.

B. OBJETIVO DE LA PRUEBA

Esta prueba permite determinar la temperatura mínima a la que el asfalto produce flamas instantáneas al estar en contacto con el fuego directo, así como aquella en que inicia su combustión. La prueba consiste en colocar una muestra de asfalto en una copa abierta de Cleveland, en donde se incrementa paulatinamente su temperatura hasta lograr que al pasar una flama por la superficie de la muestra se produzcan en ella flamas instantáneas, la temperatura correspondiente se denomina *punto de inflamación*. Si se continúa elevando la temperatura de la muestra se llega al punto en que se inicia la combustión del material, la temperatura correspondiente se denomina *punto de combustión*.

C. REFERENCIAS

Este Manual se complementa con las Normas N-CMT-4-05-001 *Calidad de Materiales Asfálticos* y N-CMT-4-05-002, *Calidad de Materiales Asfálticos Modificados*, así como del Manual M-MMP-4-05-001, *Muestreo de Materiales Asfálticos*.

D. EQUIPO

El equipo para la ejecución de la prueba debe estar en condiciones óptimas para su uso, calibrado, limpio, completo en todas sus partes y sin desgaste.

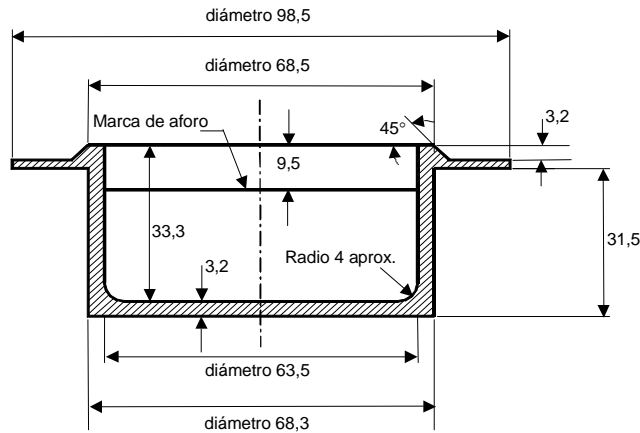
El equipo necesario es el siguiente:

D.1. COPA ABIERTA DE CLEVELAND

De latón, bronce o acero inoxidable, con la forma y dimensiones indicadas en la Figura 1 de este Manual.

D.2. SOPORTE PARA LA COPA ABIERTA DE CLEVELAND

Como el mostrado en la Figura 2, provisto de una placa de apoyo metálica y otra de asbesto, ambas con las características indicadas en la Figura 3 de este Manual.

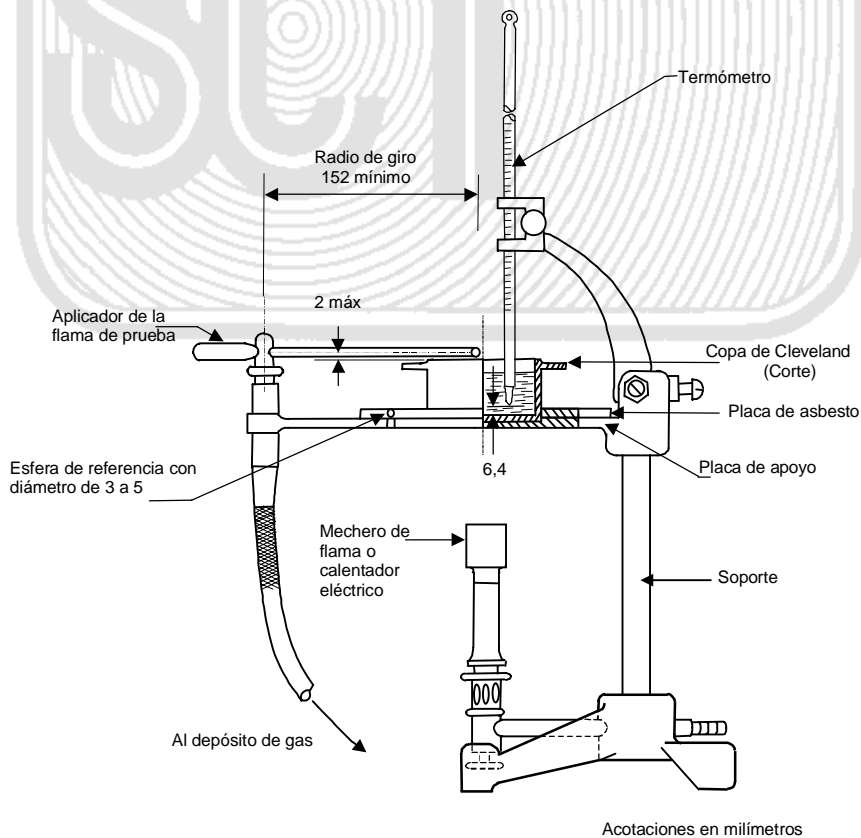


Acotaciones en milímetros, con tolerancia de $\pm 0,5$ mm

FIGURA 1.- Copa abierta de Cleveland

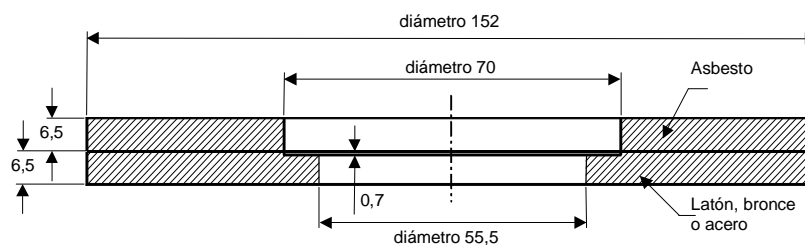
D.3. PARRILLA ELECTRICA O MECHERO

Adaptada para controlar en forma uniforme la aplicación de calor. Si se emplea un mechero, se protegerá de las corrientes de aire o de la luz excesiva en el sitio de trabajo, mediante una pantalla que no sobresalga del nivel superior de la placa de apoyo.



Acotaciones en milímetros

FIGURA 2.- Montaje del equipo



Acotaciones en milímetros, con tolerancia de $\pm 0,5$ mm

FIGURA 3.- Placa circular de apoyo para la copa de Cleveland

D.4. TERMÓMETRO DE INMERSIÓN PARCIAL

Con bulbo de 25 mm de longitud, con rango de -6 a 400°C y aproximación de 2°C .

D.5. APLICADOR DE FLAMA

Con dimensiones aproximadas de 1,6 mm de diámetro en el extremo de salida y orificio de 0,8 mm de diámetro, acoplado al soporte de tal forma que le permita girar en un plano horizontal que diste 2 mm como máximo del borde superior de la copa de Cleveland, como se muestra en la Figura 2 de este Manual.

D.6. BARÓMETRO

Para determinar la presión atmosférica en kPa o mm de mercurio.

E. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

De la muestra de cemento asfáltico, obtenida según se establece en el Manual M-MMP-4-05-001, *Muestreo de Materiales Asfálticos*, se toma una porción de volumen ligeramente mayor al de la copa abierta de Cleveland y se calienta en un recipiente apropiado, agitándola en forma continua para distribuir la temperatura uniformemente, hasta que adquiera la fluidez suficiente que facilite su vaciado en la copa, cuidando que la temperatura alcanzada no exceda de 130°C .

F. PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA

- F.1. Se monta y sujeta el termómetro de manera que el extremo inferior del bulbo quede a 6,4 mm del fondo de la copa abierta de Cleveland, previamente colocada en la placa de apoyo, en un punto situado a la mitad de la distancia entre el centro y la pared de la copa opuesta al aplicador de flama; cuidando que el eje de giro del aplicador de flama, el centro de la copa y el eje del termómetro queden en el mismo plano vertical como se muestra en la Figura 2 de este Manual.
- F.2. Se vacía lentamente en la copa abierta de Cleveland el material asfáltico preparado, hasta que la parte superior del menisco coincida con la marca de aforo de la copa, destruyendo cualquier burbuja que se forme en la superficie de la muestra de prueba vertida. En el caso de rebasar la marca de aforo se eliminará el exceso de asfalto utilizando cualquier medio apropiado.
- F.3. Se enciende el aplicador de flama y se ajusta ésta para que tenga un diámetro aproximado de 3 a 5 mm, lo cual se verificará por comparación con una esfera de referencia, instalada en la placa de apoyo como se muestra en la Figura 2 de este Manual, después de lo cual el aplicador se mantiene alejado de la copa mientras no se le requiera.

- F.4.** Se aplica calor a la muestra de prueba de manera que su temperatura aumente a razón de 14 a 17°C/min, hasta que alcance una temperatura aproximada de 60°C abajo del punto de inflamación probable. A continuación, se reduce gradualmente el calor aplicado a la copa de manera que al llegar la muestra a 30°C abajo del punto de inflamación probable, el incremento de temperatura sea de 5 a 6°C/min.
- F.5.** Cuando la temperatura de la muestra de prueba sea de 30°C abajo del punto de inflamación probable, se inicia la aplicación de la flama pasándola de lado a lado de la copa, sobre el centro de la misma y con movimiento circular uniforme de manera que la duración del paso de la flama sobre la copa sea de 1 s aproximadamente y que el aplicador gire lo suficiente hasta formar un ángulo recto con el diámetro de la copa que pasa por el eje del termómetro. El centro de la flama de prueba se debe mover en un plano horizontal situado a no más de 2 mm arriba del borde superior de la copa. La flama se aplicará cada vez que la temperatura de la muestra se eleve 2°C.
- F.6.** Se registra como punto de inflamación (t_1), en grados Celsius con aproximación de 2°C, la temperatura leída en el termómetro cuando al pasar el aplicador se produzca una pequeña flama instantánea o destello en cualquier punto de la superficie de la muestra, teniendo cuidado de no confundirla con el pequeño halo que suele tener la flama del aplicador.
- F.7.** Se continúa incrementando la temperatura de la muestra de prueba a razón de 5 a 6°C/min, pasando el aplicador de flama cada incremento de 2°C, hasta que se produzcan flamas que duren por lo menos 5 s, registrando en este momento la temperatura alcanzada (t_2), como el punto de combustión, en °C, con aproximación de 2°C.

G. CALCULOS Y RESULTADOS

Si la presión barométrica del lugar donde se efectúe la prueba, no es de 101,3 kPa (760 mm de mercurio), se corrigen las temperaturas t_1 y t_2 aplicando una de las siguientes formulas:

$$t_n' = t_n + 0,25 (101,3 - P)$$

$$t_n' = t_n + 0,033 (760 - p)$$

Donde:

t_n' = Temperatura t_1 o t_2 , corregida por presión barométrica, (°C)

t_n = Temperatura t_1 o t_2 , registrada durante la prueba, (°C)

P = Presión barométrica del lugar en que se efectúe la prueba, (kPa)

p = Presión barométrica del lugar en que se efectúe la prueba, (mm Hg)

Se reportan como punto de inflamación y punto de combustión del cemento asfáltico las temperaturas t_1 y t_2 , respectivamente, corregidas en su caso por presión barométrica (t_1' y t_2'), con aproximación de 2°C.

H. PRECAUCIONES PARA EVITAR ERRORES

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

- H.1.** Realizar la prueba en un local libre de corrientes de aire y relativamente oscuro para que se puedan identificar fácilmente las flamas.
- H.2.** Evitar agitar los vapores que se desprendan de la copa al aplicar la flama de prueba, no haciendo movimientos bruscos ni respirando cerca de ella.
- H.3.** Lavar la copa con un disolvente adecuado para eliminar cualquier residuo de la prueba anterior. Si contiene partículas de carbón removerlas con fibra de acero y lavarla con agua fría, después acercarla a una flama o colocarla sobre una parrilla eléctrica para eliminar el disolvente y el agua.

LIBRO: **MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES**

PARTE: **4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS**

TÍTULO: 05. Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas

CAPÍTULO: 009. Punto de Reblandecimiento en Cementos Asfálticos

A. CONTENIDO

Este Manual describe el procedimiento de prueba para determinar el punto de reblandecimiento, por el método del anillo y la esfera, de los cementos asfálticos a que se refieren las Normas N·CMT·4·05·001 *Calidad de Materiales Asfálticos* y N·CMT·4·05·002 *Calidad de Materiales Asfálticos Modificados*, en muestras tomadas conforme al Manual M·MMP·4·05·001 *Muestreo de Materiales Asfálticos*.

B. OBJETIVO DE LA PRUEBA

Esta prueba permite estimar la consistencia de los cementos asfálticos y se basa en la determinación de la temperatura a la cual una esfera de acero produce una deformación de 25 mm, en una muestra de asfalto sostenida en un anillo horizontal, que se calienta gradualmente dentro de un baño de agua o glicerina.

C. REFERENCIAS

Este Manual se complementa con las últimas versiones de las Normas N·CMT·4·05·001, *Calidad de Materiales Asfálticos* y N·CMT·4·05·002, *Calidad de Materiales Asfálticos Modificados*, así como del Manual M·MMP·4·05·001, *Muestreo de Materiales Asfálticos*.

D. EQUIPO Y MATERIALES

El equipo para la ejecución de la prueba estará en condiciones óptimas para su uso, calibrado, limpio, completo en todas sus partes y sin desgaste. Todos los materiales deben ser de calidad y emplearse dentro de la fecha de caducidad.

El equipo y los materiales necesarios son los siguientes:

D.1. ANILLOS

Dos anillos de latón, con el diseño y dimensiones señalados en la Figura 1 de este Manual.

D.2. VASO DE VIDRIO REFRACTARIO

Con diámetro interior mínimo de 85 mm y altura de 120 mm.

D.6. PLACA DE APOYO

Plana, lisa y rígida, de latón o bronce, de 5 × 10 cm como mínimo.

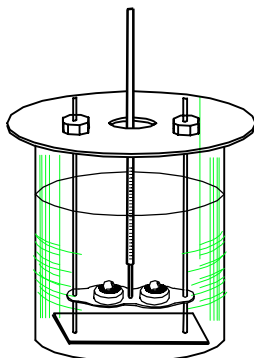
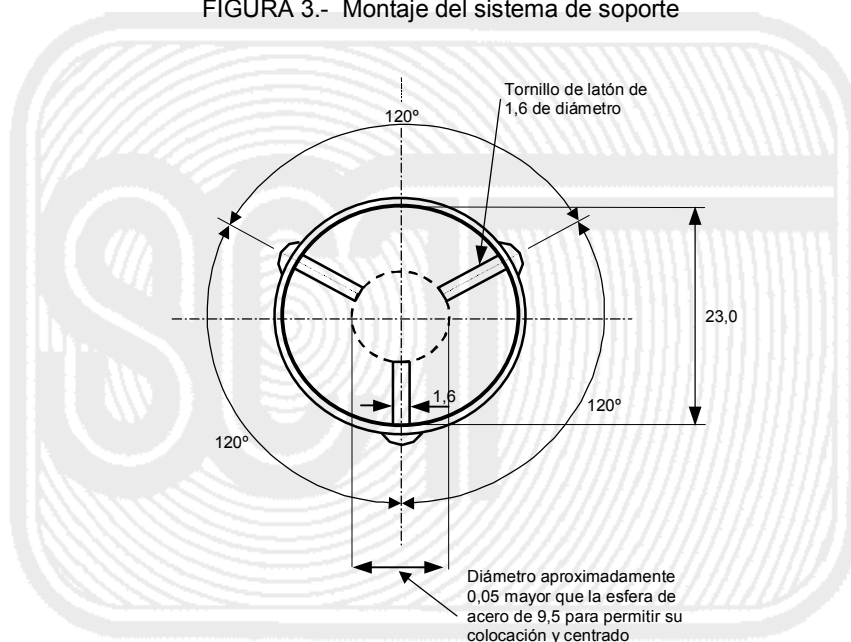
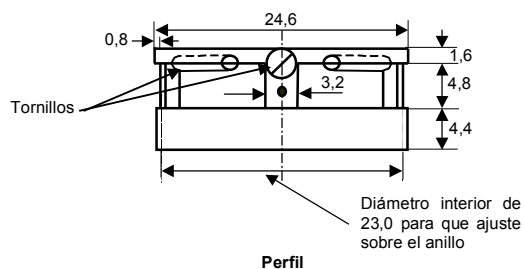


FIGURA 3.- Montaje del sistema de soporte



Vista en Planta



Acotaciones en milímetros excepto las indicadas en otra unidad

FIGURA 4.- Guía para centrar la esfera

D.7. PARRILLA ELECTRICA O MECHERO

Adaptada para controlar la aplicación de calor. Si se emplea un mechero, se debe proteger de las corrientes de aire o de la radiación excesiva, mediante una pantalla que no sobresalga del nivel inferior del vaso.

D.8. TERMÓMETRO

De inmersión total con rango de -1 a 175°C y aproximación de 0,5°C.

D.9. PINZAS

Adecuadas para manejar las esferas.

D.10. ESPÁTULA O CUCHILLO

De acero flexible, de 15 mm de ancho y 150 mm de largo.

D.11. AGUA LIMPIA O GLICERINA

Agua potable cuando se prueben cementos asfálticos con punto de reblandecimiento menor de 80°C o glicerina para temperaturas mayores.

D.12. ANTIADHERENTE

Aceite o grasa de silicón; una mezcla de glicerina y dextrina; talco o caolín, para recubrir la placa de apoyo y evitar su adherencia con el asfalto.

D.13. PAÑO

Para aplicar el antiadherente en la placa de apoyo.

E. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

La muestra de cemento asfáltico, obtenida según se establece en el Manual M-MMP-4-05-001 *Muestreo de Materiales Asfálticos*, se prepara de la siguiente manera:

- E.1.** De la muestra se toma una porción de volumen ligeramente mayor al necesario para llenar los anillos y se calienta en un recipiente apropiado, agitándola en forma continua para distribuir la temperatura uniformemente, hasta que adquiera la fluidez que permita su vaciado en los anillos, cuidando que durante su calentamiento y vaciado no se formen burbujas de aire, que la temperatura alcanzada no exceda 130°C y que esta operación se realice en un lapso menor de 60 min.
- E.2.** Se calientan los anillos a una temperatura aproximadamente igual a la de la muestra y se colocan sobre la placa de apoyo, la que se prepara previamente para que no se le adhiera la muestra de cemento asfáltico, aplicándole con el paño el antiadherente seleccionado. A continuación se vierte en los anillos el cemento asfáltico, se cubren adecuadamente para protegerlos del polvo y se deja enfriar durante aproximadamente 30 min para que recobre su consistencia sólida, debiendo alcanzar una temperatura de cuando menos 10°C debajo de la que corresponda al punto de reblandecimiento estimado. Enseguida se corta el exceso de material asfáltico con la espátula o el cuchillo calentados previamente para facilitar el corte.

F. EJECUCIÓN DE LA PRUEBA

- F.1.** Se ensambla el sistema de soporte colocando en su lugar los anillos con la muestra de prueba, las guías y el termómetro de manera que la parte inferior de su bulbo quede al mismo nivel que la parte inferior de los anillos, sin que toque las paredes del orificio central del portanillos. Se llena el vaso de vidrio hasta una altura de 10 cm, con agua potable a $5 \pm 1^\circ\text{C}$ si el punto de

reblandecimiento esperado es menor de 80°C o glicerina a 30 + 1°C si es mayor y con las pinzas se colocan las esferas en el fondo del vaso. Se introduce en el vaso el sistema de soporte y se deja el conjunto durante 15 min, manteniéndolo a la temperatura indicada para el líquido que se utilice, introduciendo el vaso en agua helada si es necesario.

- F.2.** Se extrae el sistema de soporte, con las pinzas se colocan las esferas en las guías e inmediatamente se vuelve a introducir en el vaso, quedando el montaje del equipo como se ilustra en la Figura 3 de este Manual.
- F.3.** Se coloca el conjunto en la parrilla eléctrica o mechero y se incrementa uniformemente la temperatura del líquido a razón de 5°C/min, con una tolerancia + 0,5°C en lecturas hechas cada minuto después de los primeros 3 min.
- F.4.** Se registra para cada anillo la temperatura en el momento en que el material asfáltico toque la placa inferior del soporte, con aproximación de + 0,5°C. Las temperaturas registradas no deben diferir entre sí en más de 1°C, de lo contrario se debe repetir la prueba utilizando una nueva muestra de prueba.

G. RESULTADOS

Se reporta como punto de reblandecimiento del cemento asfáltico el promedio de las temperaturas registradas como se indica en la Fracción F.4. de este Manual, con aproximación de 0,5°C, indicando el líquido utilizado para la prueba.

H. RECOMENDACIONES PARA EVITAR ERRORES

Para evitar errores durante la ejecución de la prueba, deben observarse las siguientes precauciones:

- H.1.** Cuidar que durante el llenado de los anillos no se formen burbujas de aire en la superficie o en el interior de la muestra de prueba.
- H.2.** Realizar la prueba en un local libre de corrientes de aire.
- H.3.** Cuidar que la temperatura con la que se inicie la prueba corresponda a la establecida para el líquido con el que se llene el vaso.
- H.4.** Evitar durante la prueba que la temperatura se eleve en incrementos diferentes al especificado.
- H.5.** Lavar los anillos con un disolvente adecuado para eliminar cualquier residuo de la prueba anterior. Si contienen partículas de carbón, removerlas con fibra de acero, lavarlos con agua fría y después acercarlos a una flama o colocarlos sobre la parrilla eléctrica para eliminar el disolvente y el agua.

LIBRO: MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES

PARTE: 4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS

TÍTULO: 05. Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas

CAPÍTULO: 010. Pruebas en el Residuo de la Película Delgada de Cementos Asfálticos

A. CONTENIDO

Este Manual describe el procedimiento de prueba para obtener el residuo de la película delgada en horno, de los cementos asfálticos a que se refieren las Normas N-CMT-4-05-001, *Calidad de Materiales Asfálticos* y N-CMT-4-05-002, *Calidad de Materiales Asfálticos Modificados*, en muestras tomadas conforme al Manual M-MMP-4-05-001, *Muestreo de Materiales Asfálticos*. Además, explica las pruebas que se le hacen a dicho residuo de acuerdo con lo establecido en las Normas mencionadas.

B. OBJETIVO DE LA PRUEBA

Esta prueba permite estimar el endurecimiento que sufren los cementos asfálticos que en películas de pequeño espesor se someten a los efectos del calor y el aire. La prueba consiste en someter una muestra de cemento asfáltico a un proceso de calentamiento para producir un residuo al cual, dependiendo del tipo de cemento asfáltico que se esté probando, se le realizan diversas pruebas. En el caso de cementos asfálticos normales, al residuo se le efectúan pruebas para determinar la pérdida de masa que experimentó, su viscosidad dinámica, la penetración que conserva respecto a la del cemento asfáltico original, así como su ductilidad; si se trata de cementos asfálticos modificados, al residuo se le efectúan pruebas para determinar la pérdida de masa que experimentó, la penetración del residuo y la penetración que conserva respecto a la del cemento asfáltico modificado original, su ductilidad, recuperación elástica en ductilómetro, incremento en temperatura anillo y esfera (punto de reblandecimiento), módulo reológico de corte dinámico, así como su ángulo fase.

C. REFERENCIAS

Este Manual se complementa con las siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Calidad de Materiales Asfálticos.....	N-CMT-4-05-001
Calidad de Materiales Asfálticos Modificados	N-CMT-4-05-002
Muestreo de Materiales Asfálticos	M-MMP-4-05-001
Viscosidad Dinámica de Cementos y Residuos Asfálticos	M-MMP-4-05-002
Penetración en Cementos y Residuos Asfálticos	M-MMP-4-05-006
Punto de Reblandecimiento en Cementos Asfálticos	M-MMP-4-05-009
Ductilidad de Cementos y Residuos Asfálticos	M-MMP-4-05-011
Módulo Reológico de Corte Dinámico	M-MMP-4-05-025
Recuperación Elástica en Ductilómetro	M-MMP-4-05-026

D. EQUIPO Y MATERIALES

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.

D.1. HORNO ELÉCTRICO

Con interior de forma cúbica de 31 cm por lado como mínimo, de doble pared, con control termostático que permita mantener una temperatura máxima 180°C, con aproximación de 1°C, provisto de una puerta con cierre hermético que permita descubrir todo el espacio interior; dicha puerta tendrá una ventana de doble pared de vidrio, con dimensiones mínimas de 10 cm por lado, a través de la cual se pueda leer un termómetro situado verticalmente en el interior, o bien, estará provisto de una puerta interior adicional de vidrio para el mismo fin. El horno tendrá aberturas para ventilación en el fondo y en la cubierta o en la parte superior e inferior de las paredes laterales. Estará provisto de una plataforma metálica circular de aproximadamente 25 cm de diámetro, como mínimo, suspendida en posición horizontal en el centro del horno y con un dispositivo que le permita girar a razón de 5 a 6 rpm; la plataforma proporcionará una superficie plana de soporte para las charolas a que se refiere la Fracción D.2. de este Manual, pero sin bloquear la circulación del aire cuando dichas charolas estén colocadas en su lugar dentro del horno.

D.2. CHAROLAS

De aluminio o acero inoxidable, redondas, de fondo plano, de 0,76 mm de espesor, 140 mm de diámetro interior y 9,6 mm de altura, de tal manera que al colocar en ellas una muestra de prueba de aproximadamente 50 cm³, se forme una película de 3 mm de espesor.

D.3. TERMÓMETRO

De inmersión total, con escala que abarque de 155 a 170°C y aproximación de 1°C.

D.4. BALANZA

Con capacidad mínima de 150 g y aproximación de 1 mg.

D.5. PLACAS DE ASBESTO-CEMENTO

Con tamaño suficiente que abarque toda la superficie de las charolas colocadas dentro del horno.

D.6. EQUIPO Y MATERIAL PARA LA PRUEBA DE VISCOSIDAD DINÁMICA

Todo el que se indica en la Cláusula D. del Manual M-MMP-4-05-002, *Viscosidad Dinámica de Cementos y Residuos Asfálticos*.

D.7. EQUIPO Y MATERIAL PARA LA PRUEBA DE PENETRACIÓN

Todo el que se indica en la Cláusula D. del Manual M-MMP-4-05-006, *Penetración en Cementos y Residuos Asfálticos*.

D.8. EQUIPO Y MATERIAL PARA LA PRUEBA DE PUNTO DE REBLANDECIMIENTO

Todo el que se indica en la Cláusula D. del Manual M-MMP-4-05-009, *Punto de Reblandecimiento en Cementos Asfálticos*, en el caso de que se prueben cementos asfálticos modificados.

D.9. EQUIPO Y MATERIAL PARA LA PRUEBA DE DUCTILIDAD

Todo el que se indica en la Cláusula D. del Manual M-MMP-4-05-011, *Ductilidad de Cementos y Residuos Asfálticos*.

D.10. EQUIPO Y MATERIAL PARA LA PRUEBA DE MÓDULO REOLÓGICO DE CORTE DINÁMICO Y OBTENCIÓN DEL ÁNGULO FASE

Todo el que se indica en la Cláusula D. del Manual M-MMP-4-05-025, *Módulo Reológico de Corte Dinámico*, en el caso de que se prueben cementos asfálticos modificados.

D.11. EQUIPO Y MATERIAL PARA LA PRUEBA DE RECUPERACIÓN ELÁSTICA EN DUCTILÓMETRO

Todo el que se indica en la Cláusula D. del Manual M-MMP-4-05-026, *Recuperación Elástica en Ductilómetro*, en el caso de que se prueben cementos asfálticos modificados.

E. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

La preparación de la muestra de cemento asfáltico, obtenida según se establece en el Manual M-MMP-4-05-001, *Muestreo de Materiales Asfálticos*, se hace de la siguiente manera:

- E.1. De la muestra se toma una porción ligeramente mayor de 150 g y se le aplica el calor indispensable para fluidificarla, agitándola continuamente para homogeneizar su temperatura y evitar sobrecalentamientos locales, cuidando que la temperatura alcanzada no sea mayor de 130°C y que no se formen burbujas de aire. En tres charolas previamente taradas, se vierten $50 \pm 0,5$ g de la muestra.
- E.2. En caso de que no se cuente previamente con el valor de la penetración en el asfalto original (P_i), se preparará la muestra de prueba correspondiente y se obtendrá dicho valor según se indica en el Manual M-MMP-4-05-006, *Penetración en Cementos y Residuos Asfálticos*.

F. PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA

- F.1. Se dejan enfriar las muestras colocadas en las charolas hasta la temperatura ambiente, posteriormente se obtienen sus masas por separado con aproximación de ± 1 mg, anotado cada una de estas masas como $W_{i1}, W_{i2}, \dots, W_{in}$, respectivamente.
- F.2. Se nivela el horno con objeto de que la plataforma gire en un plano sensiblemente horizontal. El termómetro se sujeta paralelamente al eje vertical de la plataforma, colocándolo a la mitad del radio de la misma y cuidando que el bulbo quede 6 mm arriba de la plataforma aproximadamente.
- F.3. En el momento en que el horno alcance la temperatura de 163°C, se colocan sobre la plataforma las charolas que contienen las muestras de prueba, se cierra el horno y se hace girar dicha plataforma a una velocidad 5 a 6 rpm. La temperatura dentro del horno se mantiene a $163 \pm 1^\circ\text{C}$ durante un periodo de 5 h, contadas a partir de que la temperatura, que debe haber descendido al introducir las charolas, alcance nuevamente 163°C. En ningún caso el tiempo total que permanezcan las muestras de prueba en el horno será mayor de 5,25 h.
- F.4. Al finalizar el periodo de calentamiento, se sacan las muestras del horno, se enfrían hasta alcanzar la temperatura ambiente, se obtienen sus masas por separado con aproximación de ± 1 mg y se registra cada una de estas masas como $W_{f1}, W_{f2}, \dots, W_{fn}$, respectivamente.
- F.5. Se prepara el residuo para efectuar las pruebas restantes, ya sean para cemento asfáltico normal o modificado, 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.

- F.6.** Una vez homogeneizado el residuo, se vierte en los moldes apropiados para luego realizar las pruebas aplicables dependiendo del tipo de cemento asfáltico, pudiendo ser éstas:
- F.6.1.** Viscosidad dinámica a 60°C, de acuerdo con el procedimiento indicado en el Manual M·MMP·4·05·002, *Viscosidad Dinámica de Cementos y Residuos Asfálticos*, tanto en cementos asfálticos normales como modificados.
 - F.6.2.** Penetración (P_f) a 25°C, 100 g y 5 s cuando se trate de cementos asfálticos normales o a 4°C, 200g y 60 s en el caso de cementos asfálticos modificados, de acuerdo con el procedimiento indicado en el Manual M·MMP·4·05·006, *Penetración en Cementos y Residuos Asfálticos*.
 - F.6.3.** Punto de reblandecimiento cuando se trate de cementos asfálticos modificados, para conocer el incremento en temperatura anillo y esfera, de acuerdo con el procedimiento indicado en el Manual M·MMP·4·05·009, *Punto de Reblandecimiento en Cementos Asfálticos*.
 - F.6.4.** Ductilidad a 25°C y 5 cm/min cuando se trate de cementos asfálticos normales ó a 4°C y 5 cm/min en el caso de cementos asfálticos modificados, de acuerdo con el procedimiento indicado en el Manual M·MMP·4·05·011, *Ductilidad de Cementos y Residuos Asfálticos*.
 - F.6.5.** Módulo reológico de corte dinámico y ángulo fase, a 76°C, en cemento asfáltico modificado, de acuerdo con el procedimiento indicado en el Manual, M·MMP·4·05·025, *Módulo Reológico de Corte Dinámico*.
 - F.6.6.** Recuperación elástica en ductilómetro a 25°C en cemento asfáltico modificado de acuerdo con el procedimiento indicado en el Manual, M·MMP·4·05·026, *Recuperación Elástica en Ductilómetro*.

G. CÁLCULOS Y RESULTADOS

- G.1.** Para determinar la pérdida de masa por calentamiento del cemento asfáltico, se sigue el siguiente procedimiento:
- G.1.1.** Se calcula la pérdida de masa por calentamiento en cada una de las muestras de prueba, determinadas con la siguiente fórmula:

$$W_{c_n} = \frac{W_{i_n} - W_{f_n}}{W_{i_n}} \times 100$$

Donde:

W_{c_n} = Pérdida de masa por calentamiento en la muestra de prueba n , (%)

W_{i_n} = Masa inicial de la muestra de prueba n , (g)

W_{f_n} = Masa final de la muestra de prueba n , (g)

- G.1.2.** Se reporta como la pérdida de masa por calentamiento del cemento asfáltico (W_c), el promedio de la pérdida en cada una de las muestras de prueba, con la siguiente fórmula:

$$W_c = \frac{\sum_{n=1}^n W_{c_n}}{n}$$

Donde:

W_c = Pérdida de masa por calentamiento en el cemento asfáltico, (%)

W_{c_n} = Pérdida de masa por calentamiento en la muestra de prueba n , (%)

n = Número de muestras de prueba (charolas)

- G.2.** Se calcula y reporta el valor de la viscosidad dinámica en el residuo siguiendo el procedimiento indicado en el Manual M-MMP-4-05-002, *Viscosidad Dinámica de Cementos y Residuos Asfálticos*.
- G.3.** La penetración retenida en el residuo, se expresa como por ciento de la penetración en el cemento asfáltico original, mediante la siguiente fórmula:

$$P_r = \frac{P_f}{P_i} \times 100$$

Donde:

P_r = Penetración retenida por el residuo de cemento asfáltico, (%)

P_i = Penetración en el cemento asfáltico original, (1×10^{-1} mm)

P_f = Penetración en el residuo de cemento asfáltico, (1×10^{-1} mm)

En el reporte se incluirá la temperatura, masa de la muestra de prueba y tiempo, utilizados en la ejecución la prueba.

- G.4.** En el caso en que se trate de cementos asfálticos modificados, se calcula y reporta el valor del incremento de la temperatura de la prueba de punto de reblandecimiento, utilizando la siguiente fórmula:

$$I_T = T_2 - T_1$$

Donde:

I_T = Incremento en temperatura anillo y esfera, (°C)

T_1 = Punto de reblandecimiento del cemento asfáltico modificado original, (°C)

T_2 = Punto de reblandecimiento del residuo de cemento asfáltico modificado, (°C)

- G.5.** Se calcula y reporta el valor de la ductilidad en el residuo siguiendo el procedimiento indicado en el Manual M-MMP-4-05-011, *Ductilidad de Cementos y Residuos Asfálticos*, incluyendo en el reporte la temperatura a la que se efectuó la prueba.
- G.6.** En el caso en que se trate de cementos asfálticos modificados, se calcula y reporta el valor del módulo reológico de corte dinámico y el ángulo fase, siguiendo el procedimiento indicado en el Manual M-MMP-4-05-025, *Módulo Reológico de Corte Dinámico*.
- G.7.** En el caso en que se trate de cementos asfálticos modificados, se calcula y reporta el valor de la recuperación elástica en ductilómetro, siguiendo el procedimiento indicado en el Manual M-MMP-4-05-026, *Recuperación Elástica en Ductilómetro*.

H. PRECAUCIONES PARA EVITAR ERRORES

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

- H.1.** Realizar la prueba bajo las condiciones de temperatura y tiempo que se indican.
- H.2.** Cumplir con todas las indicaciones y precauciones incluidas en los Manuales referidos en la Cláusula C. de este Manual.

LIBRO: MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES

PARTE: 4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS

TÍTULO: 05. Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas

CAPÍTULO: 011. Ductilidad de Cementos y Residuos Asfálticos

A. CONTENIDO

Este Manual describe el procedimiento de prueba para determinar la ductilidad de los materiales asfálticos a que se refieren las Normas N-CMT-4-05-001, *Calidad de Materiales Asfálticos* y N-CMT-4-05-002, *Calidad de Materiales Asfálticos Modificados*, en muestras tomadas conforme al Manual M-MMP-4-05-001, *Muestreo de Materiales Asfálticos*.

B. OBJETIVO DE LA PRUEBA

Esta prueba permite determinar la capacidad para deformarse sin romperse, de los cementos asfálticos, del residuo de la prueba de película delgada y de los residuos asfálticos obtenidos por destilación de emulsiones. La prueba consiste en medir la máxima distancia a la cual una briqueta de dichos materiales, de geometría y bajo condiciones de temperatura y velocidad de deformación específicas, puede ser estirada sin romperse.

C. REFERENCIAS

Este Manual se complementa con las siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Calidad de Materiales Asfálticos.....	N-CMT-4-05-001
Calidad de Materiales Asfálticos Modificados.....	N-CMT-4-05-002
Muestreo de Materiales Asfálticos.....	M-MMP-4-05-001
Pruebas en el Residuo de la Película Delgada de Cementos Asfálticos.....	M-MMP-4-05-010
Destilación de Emulsiones Asfálticas.....	M-MMP-4-05-012

D. EQUIPO Y MATERIALES

El equipo para la ejecución de la prueba estará en condiciones óptimas para su uso, calibrado, limpio, completo en todas sus partes y sin desgaste. Todos los materiales deben ser de calidad y emplearse dentro de la fecha de caducidad.

El equipo y los materiales necesarios son:

D.1. DUCTILÓMETRO

Como el mostrado en la Figura 1 de este Manual, constituido fundamentalmente por un dispositivo para estirar la briqueta de cemento asfáltico a una velocidad uniforme y sin vibraciones perjudiciales, de tal manera que durante la prueba la muestra permanezca sumergida en el agua de un tanque de material resistente a la corrosión, ubicada a no menos de 2,5 cm del nivel del agua y del fondo del tanque.



FIGURA 1.- Ductilómetro

D.2. MOLDE

Para elaborar la briqueta, de latón, compuesto de dos mordazas y dos elementos laterales, con la forma y dimensiones mostradas en la Figura 2 de este Manual.

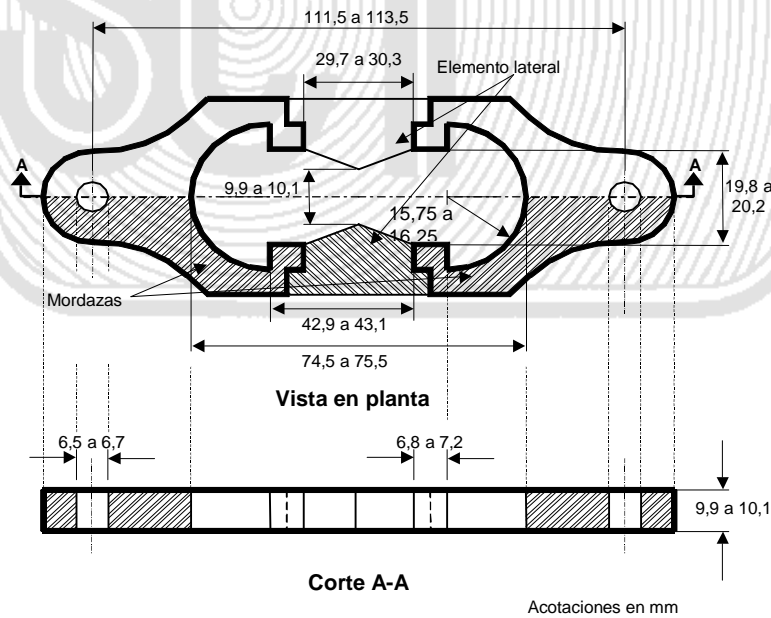


FIGURA 2.- Molde para elaborar la briqueta

D.3. PLACA DE APOYO

Plana, lisa y rígida, de latón o bronce, con superficie de 15 x 5 cm como mínimo y espesor de 2 mm aproximadamente.

D.4. BAÑO DE AGUA

Que permita mantener la temperatura a $25 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$, con una capacidad mínima de 10 L. Debe estar provisto de un entrepaño con perforaciones para colocar la muestra sumergida, ubicado a no menos de 5 cm del fondo del baño y 10 cm de la superficie libre del líquido.

D.5. TERMÓMETRO

Con rango de -8 a 32°C y aproximación de $0,1^{\circ}\text{C}$.

D.6. MALLA N° 50

De $300 \mu\text{m}$ de abertura.

D.7. ESPÁTULA DE NIQUEL

De borde recto y 20 cm de longitud.

D.8. CLORURO DE SODIO

De uso comercial.

D.9. ANTIADHERENTE

Aceite o grasa de silicón; una mezcla de glicerina y dextrina; talco o caolín, para recubrir la placa de apoyo y evitar su adherencia con el asfalto.

D.10. PAÑO

Para aplicar el antiadherente en la placa de apoyo.

E. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Previamente a la preparación de la muestra, se aplica con el paño el antiadherente seleccionado en los dos elementos laterales del molde de la briqueta y en la superficie de la placa de apoyo, para evitar que se les adhiera el asfalto. Hecho lo anterior se coloca el molde sobre la placa de apoyo y se ajusta dejándolo en posición horizontal.

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, se prepara como se indica a continuación:

E.1. MUESTRA DE CEMENTO ASFÁLTICO O DEL RESIDUO DE LA PRUEBA DE PELÍCULA DELGADA

De la muestra de cemento asfáltico, obtenida según se establece en el Manual M-MMP-4-05-001, *Muestreo de Materiales Asfálticos* o del residuo de la prueba de película delgada, obtenido como se establece en el Manual M-MMP-4-05-010, *Pruebas en el Residuo de la Película Delgada de Cementos Asfálticos*, según se especifique, se toma un volumen ligeramente mayor al necesario para llenar el molde de la briqueta y se calienta en un recipiente apropiado, agitándola en forma continua con el objeto de distribuir la temperatura uniformemente, hasta que adquiera la fluidez suficiente para facilitar su vaciado en el molde, cuidando que durante su calentamiento la temperatura no exceda de 130°C y que la operación se realice en un lapso menor de 30 min. Hecho esto, inmediatamente se llena el molde previamente preparado como se indica en la Cláusula E. de este Manual, para hacer la briqueta, pasando la muestra de prueba por la malla N°50, agitándola perfectamente y vertiéndola cuidadosamente, mediante un chorro delgado que se mueve a lo largo del molde, hasta rebasar ligeramente el nivel de enrase y evitando la formación de burbujas de aire.

Finalmente se cubre adecuadamente para protegerla del polvo y se deja enfriar durante 30 a 40 min hasta que alcance la temperatura ambiente.

E.2. 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 M-MMP-4-05-012, *Destilación de Emulsiones Asfálticas*, se destapa el alambique utilizado en esa prueba, se homogeneiza su contenido con la espátula y se elabora una briqueta llenando el molde previamente preparado como se indica en la Cláusula E. de este Manual, haciendo pasar la muestra de prueba por la malla N°50, agitándola perfectamente y vertiéndola cuidadosamente mediante un chorro delgado que se mueve a lo largo del molde, hasta rebasar ligeramente el nivel de enrase y evitando la formación de burbujas de aire. Finalmente se cubre adecuadamente para protegerla del polvo y se deja enfriar durante 30 a 40 min hasta que alcance la temperatura ambiente.

F. PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA

La prueba se realiza en la forma siguiente:

- F.1.** El molde con la placa de apoyo, conteniendo la briqueta, se coloca dentro del baño de agua, a una temperatura de $25 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$, durante 30 min; se saca del baño y se enrasa la briqueta cortando el exceso de material con una espátula de borde recto previamente calentada para facilitar el corte. Se vuelve a introducir en el baño a la misma temperatura durante 90 ± 5 min.
- F.2.** A continuación se retira la briqueta de la placa quitando los elementos laterales del molde y de inmediato se instala con sus mordazas en el ductilómetro previamente preparado con agua a $25 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$, sujetando los extremos de éstas en los postes o ganchos del aparato, debiendo quedar la cara superior de la briqueta a no menos de 2,5 cm de la superficie. Durante la prueba se debe mantener el agua a la temperatura indicada.
- F.3.** Se pone en marcha el mecanismo de prueba a una velocidad de 5 cm/min, con una variación de $\pm 5\%$, hasta producir la ruptura de la briqueta; en este momento se lee el desplazamiento de la mordaza y se registra en centímetros.

G. RESULTADOS

Se reporta como resultado de la prueba la longitud que se desplazó la mordaza para lograr la ruptura de la briqueta, en centímetros con aproximación a la unidad.

H. PRECAUCIONES PARA EVITAR ERRORES

Para evitar errores durante la ejecución de la prueba, deben observarse las siguientes precauciones:

- H.1.** Tener especial cuidado en realizar la prueba bajo las condiciones de temperatura que se indican.
- H.2.** Cuidar que durante el llenado del molde de la briqueta no se generen burbujas de aire en la superficie o en el interior de la muestra de prueba.
- H.3.** Procurar que al estirarse la briqueta ésta no toque el fondo del tanque del ductilómetro o la superficie de agua, de lo contrario, se debe repetir la prueba agregándole cloruro de sodio al agua del tanque para aumentar su densidad y lograr que la briqueta al ser estirada se mantenga en posición sensiblemente horizontal.

LIBRO: **MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES**

PARTE: **4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS**

TÍTULO: 05. Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas

CAPÍTULO: 022. Separación en Cemento Asfáltico Modificado

A. CONTENIDO

Este Manual describe el procedimiento de prueba para medir la separación del polímero en los asfaltos modificados a que se refiere la Norma N-CMT-4-05-002, *Calidad de Materiales Asfálticos Modificados*, en muestras tomadas conforme al Manual M-MMP-4-05-001, *Muestreo de Materiales Asfálticos*.

B. OBJETIVO DE LA PRUEBA

La prueba consiste en comparar el punto de reblandecimiento (anillo y esfera) en las partes superior e inferior en las muestras tomadas de un tubo con asfalto modificado con polímero y sellado.

C. REFERENCIAS

Este Manual se complementa con las siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Calidad de Materiales Asfálticos Modificados	N-CMT-4-05-002
Muestreo de Materiales Asfálticos	M-MMP-4-05-001
Punto de Reblandecimiento en Cementos Asfálticos	M-MMP-4-05-009

D. EQUIPO

El equipo para la ejecución de la prueba estará en condiciones de operación, calibrado, limpio y completo en todas sus partes.

D.1. TUBOS

De aluminio, de 2,5 cm de diámetro por 14 cm de longitud, cerrados en uno de sus extremos.

D.2. HORNO

Provisto de termostato, capaz de mantener una temperatura constante de 163 ± 6°C.

D.3. CÁMARA REFRIGERANTE

Capaz de mantener una temperatura constante de -7 ± 1°C.

D.4. SOPORTE

Capaz de sujetar en posición vertical a los tubos de aluminio en el horno así como en la cámara refrigerante.

D.5. ESPÁTULA

Rígida y filosa para cortar el tubo que contiene la muestra.

D.6. MARTILLO

Para ayudar a cortar el tubo que contiene la muestra con la espátula.

D.7. MALLA N°50

De 300 μm de abertura. Para cuando se prueben residuos por destilación de emulsiones asfálticas.

E. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

La muestra de cemento asfáltico modificado, obtenida según se establece en el Manual M-MMP-4-05-001, *Muestreo de Materiales Asfálticos*, se prepara de la siguiente manera:

- E.1.** La prueba se realizará por duplicado, por lo que será necesario preparar dos muestras de prueba.
- E.2.** De la muestra se toma una porción de 50 g y se calienta en un recipiente apropiado, agitándola en forma continua para distribuir la temperatura uniformemente, hasta que adquiera la fluidez que permita su vaciado en el tubo de aluminio previamente fijado verticalmente en el soporte.
- E.3.** Se vacía la muestra de prueba en el tubo cuidando que durante su calentamiento y vaciado no se formen burbujas de aire, que la temperatura alcanzada no exceda 130°C y que esta operación se realice en un lapso menor de 60 min. Se retira el exceso de material en el tubo y se sella. Cuando se trate de residuos por destilación de emulsiones asfálticas, el vaciado se hará a través de la malla N°50.

F. PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA

- F.1.** Se coloca el soporte con el tubo en el horno cuando éste mantenga una temperatura de $163 \pm 6^\circ\text{C}$ y se conserva el tubo ahí durante un período de 48 \pm 1 h. Transcurrido el período, se retiran del horno el soporte con el tubo e inmediatamente se colocan en la cámara refrigerante cuando ésta mantenga una temperatura de $-7 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 4 h como mínimo, para solidificar la muestra. Durante todo el proceso de la prueba el tubo se mantendrá en posición vertical y libre de vibraciones.
- F.2.** Una vez cumplido el periodo de refrigeración, el tubo se coloca en una superficie firme y plana; con la ayuda de la espátula y el martillo, se corta la muestra en el sentido transversal en tres partes iguales y se colocan los extremos en el horno a $163 \pm 6^\circ\text{C}$, hasta que el material asfáltico esté lo suficientemente fluido.
- F.3.** Siguiendo el procedimiento indicado en la Cláusula E. del Manual M-MMP-4-05-009, *Punto de Reblandecimiento en Cementos Asfálticos*, se vierten ambas muestras, una en cada anillo y se obtienen, simultáneamente, sus puntos de reblandecimiento como se describe en la Cláusula F. del mismo Manual. Es importante identificar ambos anillos para saber cuál corresponde a la muestra de la parte superior del tubo y cuál a la parte inferior.
- F.4.** Se registra para cada anillo la temperatura en el momento en que el material asfáltico toque la placa inferior del soporte, con aproximación de $\pm 0,5^\circ\text{C}$.

- F.5.** Se realiza la prueba en la muestra del segundo tubo siguiendo el procedimiento establecido en esta Cláusula.

G. CÁLCULOS Y RESULTADOS

- G.1.** Se reporta como la separación (diferencia en la temperatura anillo y esfera), con aproximación de 0,5°C, el resultado obtenido mediante la siguiente expresión, indicando el líquido utilizado para la prueba.

$$D = |T_s - T_i|$$

Donde:

D = Separación (diferencia en la temperatura anillo y esfera), (°C)

T_s = Promedio de las dos temperaturas correspondientes al punto de reblandecimiento de la parte superior de los tubos, (°C)

T_i = Promedio de las dos temperaturas correspondientes al punto de reblandecimiento de la parte inferior los tubos, (°C)

- G.2.** Para que el resultado se considere satisfactorio, la diferencia entre las mediciones de ambas pruebas, es decir, entre los dos valores de T_s o de T_i , no será mayor de 2°C.

H. PRECAUCIONES PARA EVITAR ERRORES

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

- H.1.** Realizar la prueba bajo las condiciones de temperatura, masa y tiempo indicadas en este Manual.
- H.2.** Confirmar que el equipo esté perfectamente limpio y calibrado al momento de realizar la prueba.
- H.3.** Verificar que no se presente ningún tipo de vibración que altere los resultados de la prueba.
- H.4.** Considerar todas las recomendaciones indicadas en la Cláusula H. del Manual M-MMP-4-05-009, *Punto de Reblandecimiento en Cementos Asfálticos*.

LIBRO: **MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES**

PARTE: **4. PAVIMENTOS**

TÍTULO: 05. Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas

CAPÍTULO: 023. Resiliencia en Cemento Asfáltico Modificado

A. CONTENIDO

Este Manual describe el procedimiento de prueba para determinar la resiliencia de los asfaltos modificados a que se refiere la Norma N-CMT-4-05-002, *Calidad de Materiales Asfálticos Modificados*, en muestras tomadas conforme al Manual M-MMP-4-05-001, *Muestreo de Materiales Asfálticos*.

B. OBJETIVO DE LA PRUEBA

Esta prueba permite conocer la resiliencia en materiales asfálticos modificados sometiendo un espécimen a una prueba de penetración, con el fin de predecir el comportamiento futuro del asfalto.

C. REFERENCIAS

Este Manual se complementa con la Norma N-CMT-4-05-002, *Calidad de Materiales Asfálticos Modificados* y el Manual M-MMP-4-05-001, *Muestreo de Materiales Asfálticos*.

D. EQUIPO Y MATERIALES

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.

D.1. APARATO DE PENETRACIÓN O PENETRÓMETRO PARA ASFALTOS

Estándar, como el mostrado en la Figura 1 de este Manual, capaz de sujetar una esfera como la referida en la Fracción D.2. de este Manual y provisto de un dispositivo para medir la profundidad de penetración de la esfera, en décimos de milímetro. También contará con un mecanismo que permita aproximar la esfera a la muestra de prueba.

D.2. ESFERA DE PENETRACIÓN

De acero inoxidable, totalmente endurecida y perfectamente pulida, con la forma y dimensiones que se muestran en la Figura 2 de este Manual, que se acople al penetrómetro. La guía tendrá una masa de $27,5 \pm 0,1$ g y la masa total de la guía con la esfera será de $75 \pm 0,01$ g.

D.3. CÁPSULA

De metal o de vidrio refractario, de forma cilíndrica, con el fondo plano, con diámetro interior de 55 mm y altura interior de 45 mm, aproximadamente.

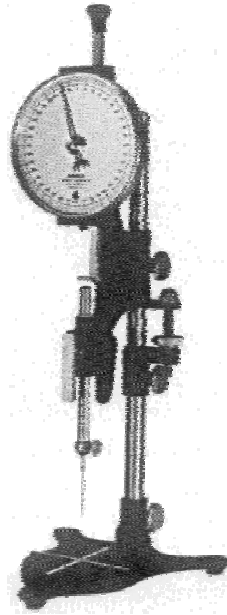


FIGURA 1.- Penetrómetro

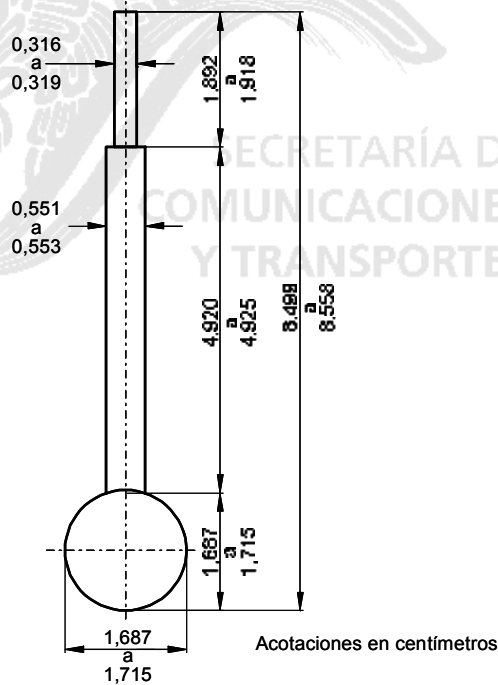


FIGURA 2.- Esfera de penetración

D.4. BAÑO DE AGUA

Con temperatura controlable hasta 50°C, con dimensiones y características tales que le den una capacidad mínima de 10 L. Provisto de un entrepaño con perforaciones, colocado a no menos de 5 cm del fondo del baño y a no menos de 10 cm de la superficie libre del líquido.

D.5. TERMÓMETRO

Con rango de 19 a 65°C y aproximación de 0,1°C.

D.6. CRONÓMETRO

Con aproximación de 0,2 s.

D.7. RECIPIENTE DE MANEJO

De metal, plástico o vidrio, de forma cilíndrica adecuada para manejar y mantener sumergida la cápsula que contenga la muestra de prueba; de 350 cm³ de capacidad y con un dispositivo que permita fijar convenientemente la cápsula.

D.8. HORNO

Provisto de termostato que mantenga temperaturas hasta de 175°C, con aproximación de ±2°C.

D.9. AGUA

Destilada.

D.10. GLICERINA O TALCO

Para evitar que se adhiera el material asfáltico a la esfera.

E. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

De la muestra de asfalto modificado, obtenida según se establece en el Manual M-MMP-4-05-001, *Muestreo de Materiales Asfálticos*, se toma una porción de 177,5 cm³ y se calienta en un recipiente apropiado, agitándola en forma continua con el objeto de distribuir la temperatura uniformemente, hasta que adquiera la fluidez suficiente para facilitar su vaciado en la cápsula, cuidando que durante su calentamiento no se formen burbujas de aire, que la temperatura alcanzada no exceda de 130°C y que esta operación se realice en un lapso menor de 30 min. Hecho esto, inmediatamente se llena la cápsula con la muestra de prueba, se cubre adecuadamente para protegerla del polvo, se deja enfriar hasta que alcance la temperatura ambiente, para después ser sometida a un proceso de curado durante 24 h bajo condiciones estándar de laboratorio.

F. PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA

- F.1.** Se coloca la cápsula que contiene la muestra de prueba dentro del recipiente de manejo, para introducirlos posteriormente en el baño de agua, cuando éste mantenga una temperatura de 25 ± 0,1°C. Se sumerge dicho recipiente completamente y se mantiene así por espacio de 1 h, con objeto de que el producto asfáltico adquiera esa temperatura.
- F.2.** Se coloca el penetrómetro sobre una superficie plana, firme y sensiblemente horizontal, se le acopla la esfera de penetración con guía y se nivela perfectamente el penetrómetro.
- F.3.** Se saca del baño de agua el recipiente de manejo, el cual contiene la muestra de prueba en su cápsula, cuidando que tenga agua suficiente para cubrir completamente dicha cápsula. Se colocan el recipiente y la cápsula sobre la base del penetrómetro, de tal manera que la muestra quede bajo la esfera de penetración, a la que previamente se le habrá aplicado ligeramente glicerina o talco para evitar que se adhiera a la muestra. Se ajusta la altura de la esfera de penetración hasta que haga contacto con la superficie de la muestra, lo que se logra haciendo coincidir la superficie de la esfera con su imagen reflejada en la superficie de la muestra.

- F.4.** Se hace coincidir la manecilla del penetrómetro con el cero de su carátula, hecho esto se libera la esfera dejándola penetrar durante 5 s, después de lo cual se toma la lectura registrándola en décimos de milímetro como P .
- F.5.** Sin alterar la lectura del medidor, se presiona la guía con la esfera a un ritmo uniforme durante 10 s, hasta que la manecilla del penetrómetro recorra 100 unidades, es decir, que la manecilla indique $P + 100$. Se sostiene esta presión mediante el embrague durante otros 5 s, mientras se regresa la manecilla del penetrómetro a "cero". Hecho lo anterior, se libera el embrague para que el espécimen se recupere durante 20 s y se registra la lectura después de la recuperación, como F , en décimos de milímetro.
- F.6.** Se realizan un total de tres determinaciones sobre puntos equidistantes entre ellos, separados de la pared de la cápsula no menos de 13 mm. Se limpia cuidadosamente la esfera después de cada determinación sin desmontarla y, de ser necesario, para ajustar la temperatura a $25 \pm 0,1^\circ\text{C}$, se regresa el recipiente de manejo con la muestra al baño de agua. Para la limpieza de la esfera se utiliza un paño humedecido con tricloroetileno y después un paño seco y limpio.

G. CÁLCULOS Y RESULTADOS

- G.1.** Se calcula la recuperación elástica para cada una de las tres mediciones, utilizando la siguiente fórmula:

$$R = P + 100 - F$$

Donde:

R = Recuperación elástica, (%)

P = Penetración de la esfera, (1×10^{-1} mm)

F = Lectura de recuperación, (1×10^{-1} mm)

- G.2.** Se reporta como la resiliencia, el promedio de las tres recuperaciones elásticas calculadas.

H. PRECAUCIONES PARA EVITAR ERRORES

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

- H.1.** Realizar la prueba en un lugar cerrado, con ventilación indirecta, limpio y libre de corrientes de aire, de cambios de temperatura y de partículas que provoquen la contaminación de las muestras de prueba.
- H.2.** Realizar la prueba bajo las condiciones de temperatura, masa y tiempo de penetración que se especifican.
- H.3.** Evitar que exista aire atrapado en la muestra de prueba.
- H.4.** Confirmar que la esfera esté perfectamente limpia en el momento de la penetración.
- H.5.** Verificar que la esfera esté en contacto con la superficie de la muestra de prueba al iniciar la penetración.

LIBRO: **MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES**

PARTE: **4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS**

TÍTULO: 05. Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas

CAPÍTULO: 024. Recuperación Elástica por Torsión en Cemento Asfáltico Modificado

A. CONTENIDO

Este Manual describe el procedimiento de prueba para determinar la recuperación elástica por torsión de los asfaltos modificados, a que se refiere la Norma N-CMT-4-05-002, *Calidad de Materiales Asfálticos Modificados*, en muestras tomadas conforme al Manual M-MMP-4-05-001, *Muestreo de Materiales Asfálticos*.

B. OBJETIVO DE LA PRUEBA

Esta prueba permite determinar la capacidad de recuperación elástica de los materiales asfálticos modificados. La prueba consiste en inducir una deformación angular mediante un cilindro de acero de dimensiones específicas, embebido en una muestra de cemento asfáltico modificado, con el objeto de observar su capacidad de recuperación.

C. REFERENCIAS

Este Manual se complementa con la Norma N-CMT-4-05-002, *Calidad de Materiales Asfálticos Modificados* y el Manual M-MMP-4-05-001, *Muestreo de Materiales Asfálticos*.

D. EQUIPO Y MATERIALES

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.

D.1. APARATO DE TORSIÓN

Para imponer una deformación angular a la muestra, con la forma y dimensiones mostradas en las Figuras 1 y 2 de este Manual y constituido fundamentalmente por:

- Cilindro metálico
- Semicorona con escala graduada de 0 a 180°
- Barra indicadora, que permite tomar la medición sobre la semicorona graduada
- Baño de agua
- Molde para la muestra

D.2. TERMÓMETRO

Con rango de 19 a 27°C y aproximación de 0,1°C.

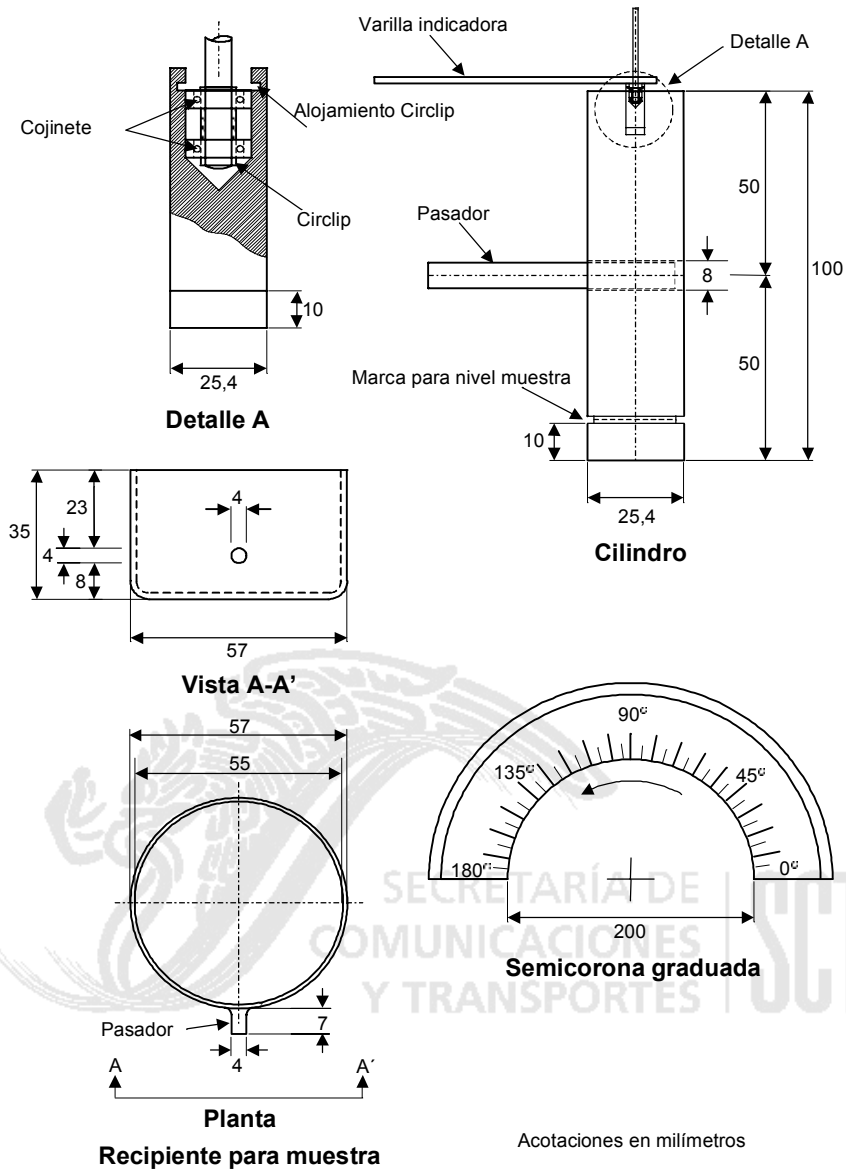


FIGURA 1.- Cilindro, semicorona graduada y molde para la muestra

D.3. CRONÓMETRO

Con aproximación de 1 s.

D.4. ESTUFA

Para calentar la muestra de prueba.

D.5. VARILLA

Para agitado, con extremos redondeados con diámetro de 13 mm aproximadamente.

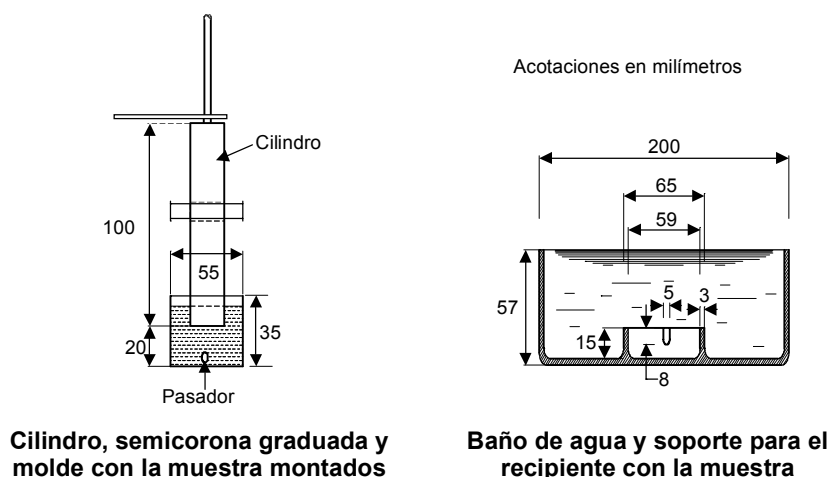


FIGURA 2.- Recipiente con la muestra y baño de agua

D.6. ESPÁTULA

Metálica, para agitar la muestra.

D.7. RECIPIENTE

De un material resistente al calor.

D.8. MALLA N°50

De 300 μm de abertura.

E. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

De la muestra de cemento asfáltico modificado, obtenida según se establece en el Manual M-MMP-4-05-001, *Muestreo de Materiales Asfálticos*, se toma una porción de volumen ligeramente mayor al necesario para llenar el molde para la muestra del aparato de torsión y se calienta en un recipiente apropiado, agitándola en forma continua con el objeto de distribuir la temperatura uniformemente, hasta que adquiera la fluidez suficiente para facilitar su vaciado en dicho molde, cuidando que durante su calentamiento la temperatura no exceda de 130°C y que esta operación se realice en un lapso menor de 30 min.

F. PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA

- F.1. Se centra y fija el molde para la muestra dentro del baño, antes de agregar el agua.
- F.2. Se ajusta el cilindro metálico de tal forma que su base inferior quede a una distancia de 20 mm del fondo del molde, previamente al vertido de la muestra.
- F.3. Una vez preparada la muestra como se establece en la Cláusula E. de este Manual, se vierte en el molde, agitándola perfectamente y haciéndola pasar cuidadosamente a través de la malla N°50, formando un chorro delgado que se mueva por toda la circunferencia del molde, evitando la formación de burbujas de aire y en cantidad suficiente que permita el enrasamiento de dicho molde usando como referencia la marca grabada sobre el cilindro metálico a 10 mm de su base inferior, es decir, que el cilindro metálico quede sumergido dentro de la muestra precisamente estos 10 mm.

- F.4.** Se deja enfriar el conjunto formado por el molde, la muestra y el cilindro metálico, durante 1 h como mínimo, hasta alcanzar la temperatura ambiente.
- F.5.** Se hace circular agua por el baño a una temperatura de $25 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ durante al menos 90 min, con el fin de equilibrar la temperatura del agua y de la muestra de prueba. El nivel del líquido en el baño estará por encima del recipiente con la muestra.
- F.6.** Se introduce el pasador en el espacio que para tal efecto tiene el cilindro metálico y con su ayuda se hace girar dicho cilindro 180° en el sentido de las manecillas del reloj, es decir, se lleva la barra indicadora de 180° a 0° , en un tiempo comprendido entre 3 y 5 s. Hecho esto, se retira inmediatamente el pasador para que no interfiera con el desarrollo posterior de la prueba.
- F.7.** Transcurridos $30 \text{ min} \pm 15 \text{ s}$, se registra la lectura indicada por la barra sobre la semicorona graduada, como el valor del ángulo recuperado (L).

G. CÁLCULOS Y RESULTADOS

Se reporta como resultado de la prueba, el porcentaje de recuperación con respecto al ángulo inicial de 180° , utilizando la siguiente expresión:

$$R_e = \frac{L}{180} \times 100$$

Donde:

R_e = Recuperación elástica por torsión, (%)

L = Ángulo recuperado, ($^{\circ}$)

H. PRECAUCIONES PARA EVITAR ERRORES

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

- H.1.** Realizar la prueba en un lugar cerrado, con ventilación indirecta, limpio y libre de corrientes de aire, de cambios de temperatura y de partículas que provoquen la contaminación de las muestras de prueba.
- H.2.** Realizar la prueba bajo las condiciones de temperatura y tiempo señalados.
- H.3.** Evitar que exista aire atrapado en la muestra de prueba.
- H.4.** Confirmar que el equipo esté perfectamente limpio en el momento de la prueba, especialmente el cilindro metálico.

I. BIBLIOGRAFÍA

- Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX, Norma NLT-329/91, *Recuperación Elástica por Torsión de Betunes Asfálticos Modificados*, España, (1991).
- Ministère des Travaux Publics, Circulaire N° A-169-86/04001, Bélgica, (1986).

LIBRO: **MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES**

PARTE: **4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS**

TÍTULO: 05. Materiales Asfálticos Aditivos y Mezclas

CAPÍTULO: 025. Módulo Reológico de Corte Dinámico

A. CONTENIDO

Este Manual describe el procedimiento de prueba para la determinación del módulo reológico de corte dinámico y el ángulo fase de los asfaltos modificados, a que se refiere la Norma N·CMT·4·05·002, *Calidad de Materiales Asfálticos Modificados*, en el residuo de la prueba de la película delgada o para determinar las propiedades reológicas de muestras tomadas conforme al Manual M·MMP·4·05·001, *Muestreo de Materiales Asfálticos*.

B. OBJETIVO DE LA PRUEBA

Esta prueba permite determinar el módulo reológico de corte dinámico y el ángulo fase, como propiedades viscoelásticas lineales de un cemento asfáltico, sometiendo una muestra a esfuerzos de torsión utilizando un reómetro dinámico de corte. Es aplicable a cementos asfálticos con módulos complejos en el rango de 0,1 a 1 000 kPa, los que se obtienen en forma típica entre 5 y 85°C.

C. REFERENCIAS

Son referencias de este Manual, la norma PP6 (norma provisional), *Grading or Verifying the Performance Grade of an Asphalt Binder* (Graduación o Verificación del Grado de Comportamiento del Ligante Asfáltico) publicada por la *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO), y la norma *Deutsche Industrie Norm* (DIN) N°43760, *Standard for Calibration of Thermocouples* (Norma para la Calibración de Termocoples).

Además, este Manual se complementa con las siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Calidad de Materiales Asfálticos Modificados	N·CMT·4·05·002
Muestreo de Materiales Asfálticos	M·MMP·4·05·001
Pruebas en el Residuo de la Película Delgada de Cementos Asfálticos	M·MMP·4·05·010

D. EQUIPO

El equipo para la ejecución de la prueba estará en condiciones de operación, calibrado, limpio y completo en todas sus partes.

D.1. SISTEMA DE PRUEBA DEL REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO (DSR)

Como el mostrado en la Figura 1 de este Manual, que cuente con:

D.1.1. Plato base

Metálico, con superficies pulidas, con las dimensiones adecuadas según el plato oscilatorio que emplee. En algunos reómetros este plato puede ser plano.

D.1.2. Platos oscilatorios

Metálicos, con superficies pulidas, con diámetros de $8 \pm 0,05$ mm o $25 \pm 0,05$ mm. El plato de 8 mm es recomendable cuando se realiza la prueba a una temperatura aproximada de 40°C y el de 25 mm para temperaturas superiores. Es conveniente que tengan una pestaña o anillo en su perímetro, con una altura de 2 a 5 mm, esto para facilitar el recorte de la muestra y mejorar la repetibilidad de la prueba.

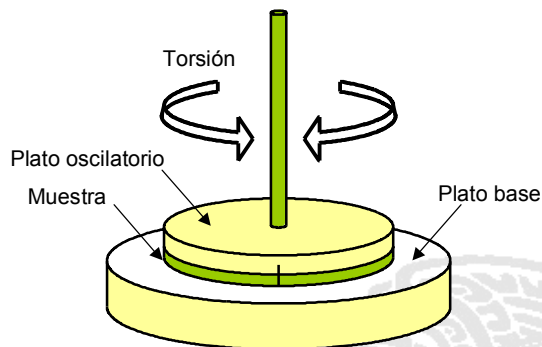


FIGURA 1.- Reómetro de corte dinámico típico

D.1.3. Cámara ambiental

Capaz de controlar la temperatura de la muestra con aproximación de $0,1^{\circ}\text{C}$, mediante gas o líquido, tal como el nitrógeno o el agua, que no afecten las propiedades de la muestra. Si se utiliza agua, se contará con un secador para prevenir la condensación de la humedad en los platos y los demás aditamentos, además de evitar la formación de hielo si se está trabajando a temperaturas bajo cero. Tendrá las dimensiones adecuadas para contener los platos a que se refieren los Incisos D.1.1. y D.1.2. de este Manual y minimizar los gradientes térmicos. Que cuente con:

D.1.3.1. Controlador de temperatura

Capaz de mantener la temperatura de la muestra con aproximación de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$, para rangos de prueba de 5 a 85°C .

D.1.3.2. Detector de temperatura

Detector de resistencia térmica (RTD), de platino (clase A) o equivalente, que cumpla con la norma DIN 43760, con rango de 5 a 85°C y aproximación de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$. El detector estará montado dentro de la cámara ambiental en contacto con el plato, para controlar en forma continua la temperatura en la cámara durante el montaje de la muestra, su acondicionamiento y la prueba. El RTD se calibrará como una unidad integral con su respectivo medidor o circuito electrónico.

D.1.3.3. Detector térmico de referencia

Puede ser un termistor o un detector de resistencia térmica (RTD) montados en un sello de silicón, o bien un termocople.

D.1.4. Dispositivo de carga

Capaz de proporcionar una carga sinusoidal de esfuerzo o deformación controlados, con una frecuencia de $10 \pm 0,1$ rad/s; si se utilizan frecuencias distintas, éstas tendrán una precisión de $\pm 1\%$. Cuando la carga sea de deformación controlada, el dispositivo será capaz de aplicar una torsión cíclica suficiente para causar una deformación rotacional angular con una precisión de ± 100 μ rad de la deformación especificada; cuando la carga sea de esfuerzo controlado, la fuerza de torsión cíclica aplicada tendrá una precisión de ± 10 mN·m de la torsión especificada. El rendimiento total del sistema a una torsión de 100 N·m será menor de 2 mrad/N m.

D.1.5. Sistema de control y registro de datos

Que cuente con los dispositivos necesarios para registrar la temperatura, la frecuencia, el ángulo de giro y la fuerza o deformación por torsión. Dichos dispositivos cumplirán con las precisiones indicadas en la Tabla 1 de este Manual. Adicionalmente, el sistema será capaz de calcular y registrar el esfuerzo y la deformación cortantes, el módulo complejo (G^*) en un rango de 0,1 a 1 000 kPa con aproximación de 0,5% y el ángulo fase (δ) en un rango de 0 a 90° con aproximación de 0,1°.

TABLA 1.- Precisión del sistema de control y registro de datos

Parámetro	Aproximación
Temperatura	$\pm 0,1^\circ\text{C}$
Frecuencia	$\pm 1\%$
Ángulo de giro	± 100 μ rad
Torsión	± 10 mN·m

D.2. MOLDE PARA FORMAR LA MUESTRA

De silicón, que tenga un diámetro aproximadamente igual al plato superior y una profundidad aproximada igual a 1,5 veces el espesor que se fije para la muestra, que puede ser 1 mm o 2 mm.

D.3. DISPOSITIVO PARA AJUSTAR (RECORTAR) LAS MUESTRAS

Con una punta afilada, de 4 mm de ancho como mínimo.

D.4. DETECTOR CALIBRADO DE TEMPERATURA

Para medir la temperatura de la muestra. Puede ser un termocople calibrado, un termistor o un detector de resistencia térmica (RTD) con espesor o diámetro de 2 mm o menor. Los termistores y termocoples no son confiables para precisiones mayores de $10,1^\circ\text{C}$ a menos que se calibren de acuerdo con el estándar del *National Institute of Standards and Technology* (NIST), utilizando sus propios medidores o circuitos electrónicos. Los RTD de platino no son adecuados, ya que son demasiado largos para ajustarse en el espacio entre los platos en el reómetro de corte dinámico (DSR).

E. CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

La calibración del equipo se realizará por lo menos cada 6 meses, considerando lo siguiente:

E.1. TEMPERATURA

Debido a la existencia de gradientes térmicos dentro del reómetro y la dificultad para calibrar el RTD mientras ésta montado en el reómetro, es necesario hacer una medición directa de la temperatura entre los platos utilizando un espécimen y un detector térmico de referencia. Para verificar las mediciones de temperatura se procede como sigue:

- E.1.1. Se prepara un espécimen de cemento asfáltico o de silicón siguiendo el procedimiento descrito en la Cláusula G. de este Manual; dicho espécimen se utilizará únicamente para verificar las mediciones de temperatura, ya que las medidas de corte dinámico no son válidas cuando el detector de referencia se inserta dentro de la muestra.
- E.1.2. Se coloca el espécimen entre los platos y se registra su temperatura con el detector térmico de referencia, que puede ser un termistor, un detector de resistencia térmica (RTD) o un termocople.
- E.1.3. Se ajusta la temperatura en la cámara ambiental a la mínima que se utilizará para la prueba y se espera hasta que llegue al equilibrio; hecho esto, se toma la lectura inicial del RTD del reómetro y la temperatura del espécimen medida con el detector térmico de referencia. Se aumenta la temperatura en incrementos no mayores de 6°C y se repiten las mediciones hasta cubrir el rango de temperaturas de prueba.
- E.1.4. Utilizando las mediciones resultantes, se obtiene la diferencia entre las temperaturas obtenidas con el RTD del reómetro y el detector térmico de referencia insertado en el espécimen. Es de esperar que la diferencia entre las mediciones no sea constante y varíe con la temperatura de prueba.
- E.1.5. Si las mediciones a que se refiere el Inciso anterior varían en más de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$, se ajustará el RTD del reómetro de tal forma que la lectura de la temperatura de prueba coincida con la que se obtiene con el detector térmico de referencia en el espécimen colocado entre los dos platos.
- E.1.6. El RTD del reómetro puede ser calibrado por el proveedor del equipo. Se puede verificar la calibración comparando la lectura del RTD con la de un termómetro de mercurio de inmersión parcial con un rango apropiado que esté debidamente calibrado, uniéndolos mediante una banda de hule y sumergiéndolos en un baño de agua en movimiento puesto a temperatura constante con una variación no mayor de $0,5^{\circ}\text{C}$.

E.2. DISPOSITIVO DE CARGA

El dispositivo de carga, se calibrará de acuerdo con las instrucciones del fabricante del equipo.

E.3. VERIFICACIÓN DE TODO EL SISTEMA DE PRUEBA

Para verificar la calibración de todo el sistema, se pueden utilizar fluidos con características viscoelásticas similares a los cementos asfálticos. Se pueden utilizar fluidos con módulo complejo y ángulo fase conocidos dentro del rango de mediciones de la prueba; sin embargo, ya que los fluidos de referencia no tienen la misma sensibilidad a la temperatura que los cementos asfálticos, se debe tener mucho cuidado en la interpretación de los resultados obtenidos de dichos fluidos. No es recomendable tratar de verificar individualmente los detectores de carga o giro mediante un fluido de referencia.

F. PREPARACIÓN DEL EQUIPO

Se prepara el sistema de prueba de acuerdo con las recomendaciones del fabricante del equipo, considerando lo siguiente:

- F.1. Se limpian y secan cuidadosamente las superficies de los platos metálicos, para garantizar una adherencia uniforme y firme de la muestra durante su montaje. Se montan firmemente los platos en su sitio y se selecciona la temperatura de prueba de acuerdo con el tipo del cemento asfáltico por probar, según en la Norma N-CMT-4-05-002, *Calidad de Materiales Asfálticos Modificados*, a menos que se desee utilizar otra considerando las recomendaciones indicadas en la norma (provisional) AASHTO PP6. Se calienta el reómetro hasta que se estabilice su temperatura a la de prueba $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$.

- F.2.** Una vez que los platos están a la temperatura de prueba o, si ésta se va a realizar en un rango de temperaturas, dichos platos están a la temperatura correspondiente a la mitad del rango, se cierra el espacio entre los platos hasta llegar al “nivel cero” girando manualmente el plato móvil hasta que toque al plato fijo, es decir, cuando el plato móvil deje de girar completamente; hecho lo anterior se ajusta la lectura del micrómetro en ceros o, si esto no es posible, se toma la lectura inicial del micrómetro. En el caso que se utilice un reómetro con un dispositivo de fuerza normal, se cierra el espacio entre los platos hasta que se toquen y se fija entonces el “nivel cero” cuando la fuerza normal es aproximadamente nula. El soporte, los detectores y demás accesorios en el reómetro, pueden sufrir cambios volumétricos por temperatura, lo que puede ocasionar que se modifique el “nivel cero” previamente fijado; sin embargo, no es necesario hacer ajustes siempre y cuando las mediciones se hagan en un rango de $\pm 12^{\circ}\text{C}$ respecto a la temperatura a la que fue fijado dicho nivel.
- F.3.** Una vez fijado el “nivel cero”, se separan los platos hasta que se tenga una distancia de $1 \pm 0,05$ mm en el caso de especímenes de 25 mm de diámetro, o una distancia de $2 \pm 0,05$ mm para especímenes de 8 mm de diámetro.

G. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

La preparación de la muestra de cemento asfáltico modificado, ya sea producto del residuo de la prueba de película delgada, ejecutada como se indica en el Manual M-MMP-4-05-010, *Pruebas en el Residuo de la Película Delgada de Cementos Asfálticos*, o de una muestra obtenida según se establece en el Manual M-MMP-4-05-001, *Muestreo de Materiales Asfálticos*, se hace de la siguiente manera:

- G.1.** De la muestra se toma una porción ligeramente mayor al volumen necesario para llenar el molde de silicón (aproximadamente 10 g) y se le aplica el calor indispensable para fluidificarla, agitándola continuamente para homogeneizar su temperatura y evitar sobrecalentamientos locales, cuidando que la temperatura alcanzada no sea mayor de 163°C y que no se formen burbujas de aire. Es recomendable minimizar el tiempo y la temperatura de calentamiento para evitar el endurecimiento de la muestra.
- G.2.** Si los platos no se encuentran montados en su sitio, se limpian y secan cuidadosamente para garantizar una adherencia uniforme y firme de la muestra. Se introducen los platos en la cámara ambiental del reómetro previamente calentada a 45°C , aproximadamente, hasta que alcancen dicha temperatura; esto producirá el calor suficiente para que la muestra se adhiera adecuadamente a los platos en el momento de presionarla para su ajuste en ellos; en caso que los platos se encuentren colocados en su sitio y a la temperatura aquí indicada, se procederá directamente con lo señalado en la siguiente Fracción.
- G.3.** Del reómetro previamente preparado como se indica en la Cláusula F. de este Manual, se retira el plato superior o inferior, según su caso. Sobre el plato inferior montado o fuera del reómetro, según el tipo de aparato, se vacía la muestra sobre su centro y en forma continua, cubriéndolo hasta 2 mm antes del perímetro del mismo. El vaciado se hace vertiendo la muestra desde aproximadamente 15 mm por encima del plato, pudiendo utilizar una jeringa o gotero. Se deja reposar el plato hasta que la muestra de prueba endurezca y se monta nuevamente el plato inferior o el superior en el reómetro.
- G.4.** Si como alternativa a lo señalado en la Fracción anterior, se prefiere utilizar el molde de silicón, se vacía en él la muestra para formar una pastilla con un espesor aproximado de 1,5 veces la distancia seleccionada entre los platos para la prueba, que puede ser de 1 mm si se utiliza un plato oscilatorio de 25 mm de diámetro, o de 2 mm si dicho plato es de 8 mm de diámetro. Se deja enfriar la muestra a temperatura ambiente, se retira el plato superior o el inferior de la cámara ambiental, según sea el caso, se desmolda la muestra y se centra en dicho plato para montarlo nuevamente en el reómetro inmediatamente. En el caso de asfaltos suaves, para acelerar el enfriamiento de la muestra se puede introducir el molde en una cámara refrigerante el tiempo mínimo indispensable para facilitar el desmolde, que normalmente es menor de 5 min.

- G.5.** Una vez que la muestra se ha colocado en un plato como se indica en las Fracciones G.3. o G.4. de este Manual, se acercan entre sí los platos montados en el reómetro para presionar la muestra entre ellos, hasta que la distancia entre los platos sea 0,05 mm mayor que la distancia especificada para la prueba, que puede ser de 1 mm o 2 mm, como se indica en la Fracción anterior.
- G.6.** Se recorta cuidadosamente el exceso de la muestra que sobresale del perímetro del plato superior, utilizando una herramienta con filo y previamente calentada.
- G.7.** Una vez que se ha terminado de recortar la muestra, se reduce el espacio entre los platos los 0,05 mm, para alcanzar la distancia seleccionada para la prueba; esto causará un pequeño abultamiento de la muestra en su periferia.

H. DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES DE PRUEBA

- H.1.** Cuando se opera en el modo de deformación controlada, la prueba se hace considerando lo siguiente:
- H.1.1.** Cuando la prueba se ejecuta para verificar los requisitos de calidad establecidos en la Norma N-CMT-4-05-002, *Calidad de Materiales Asfálticos Modificados*, la deformación angular unitaria inducida será de $10 \pm 2\%$. De preferencia se utilizará un reómetro que controle la deformación en forma automática, sin la necesidad de intervención del operador.
- H.1.2.** Si la prueba se realiza con un fin distinto al indicado en el Inciso anterior, la deformación se determina de acuerdo con el valor del módulo complejo esperado y se controla dentro del rango correspondiente al 20% del valor obtenido mediante la siguiente expresión:

$$\gamma = \frac{12}{(G^*)^{0,29}}$$

Donde:

γ = Deformación al cortante, (%)

G^* = Módulo complejo esperado, (kPa)

- H.2.** Cuando se opera en el modo de esfuerzo controlado, la prueba se hace considerando lo siguiente:
- H.2.1.** Cuando la prueba se ejecuta para verificar los requisitos de calidad establecidos en la Norma N-CMT-4-05-002, *Calidad de Materiales Asfálticos Modificados*, el esfuerzo cortante aplicado será de $0,22 \pm 0,04$ kPa. De preferencia se utilizará un reómetro que controle el nivel de esfuerzos en forma automática, sin la necesidad de intervención del operador.
- H.2.2.** Si la prueba se realiza con un fin distinto al indicado en el Inciso anterior, el nivel de esfuerzos cortantes por aplicar se determina de acuerdo con el valor del módulo complejo esperado y se controla dentro del rango correspondiente al 20% del valor calculado mediante la siguiente expresión:

$$\tau = 0,12(G^*)^{0,71}$$

Donde:

τ = Esfuerzo cortante, (kPa)

G^* = Módulo complejo esperado, (kPa)

I. PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA

- I.1. Una vez que el equipo y la muestra han sido preparados como se indica en las Cláusulas F. y G. de este Manual, respectivamente, se calienta la muestra utilizando la cámara ambiental, hasta alcanzar la temperatura de prueba indicada en la Tabla 1 de la Norma N-CMT-4-05-002, *Calidad de Materiales Asfálticos Modificados*, $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$. Se fija el controlador de temperatura al nivel de prueba deseado, incluyendo, en su caso, los ajustes a que se refiere la Fracción E.1. de este Manual. La prueba se iniciará cuando se haya mantenido la temperatura de prueba en un rango de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ por al menos 10 min.
- I.2. Una vez alcanzada la temperatura de prueba como se indica en la Fracción anterior, se aplican a la muestra 10 ciclos de una deformación o esfuerzo cíclico de valor predeterminado, a una frecuencia de 10 rad/s. Hecho lo anterior, se aplican otros 10 ciclos en las mismas condiciones y se registran las lecturas correspondientes. Es importante que se inicie la segunda fase de la prueba lo más pronto posible después de terminada la primera. Cuando se efectúen pruebas a diferentes temperaturas con la misma muestra, éstas se harán de tal forma que el tiempo entre prueba y prueba sea mínimo, con objeto de evitar el endurecimiento de la muestra por efecto de las asociaciones moleculares, lo que puede provocar el incremento del valor del módulo complejo; el tiempo total de prueba no será mayor de 4 h.
- I.3. Con las lecturas registradas automáticamente, mediante el sistema de control y registro de datos del reómetro, al procesarlas el aparato obtiene el módulo complejo (G^*) y el ángulo fase (δ). Se pueden efectuar varias mediciones con la misma muestra para verificar que haya sido preparada adecuadamente, pero teniendo cuidado que no se desprege la muestra de los platos o se fracture, ya que esto provocaría que disminuya el valor del módulo complejo. Algunos cementos asfálticos muestran una disminución del módulo complejo al practicárseles pruebas múltiples. Es importante que si se efectúan pruebas utilizando más de una frecuencia, se inicie con la más baja hasta llegar a la más alta.

J. CÁLCULOS Y RESULTADOS

- J.1. Se calcula el módulo reológico de corte dinámico, dividiendo el módulo complejo entre el seno del ángulo fase ($G^*/\sin \delta$), obtenidos de las lecturas proporcionadas por el sistema de control y registro de datos del reómetro.
- J.2. Se reporta como resultado de esta prueba, el valor del módulo reológico de corte dinámico en kPa y el ángulo fase (δ) en grados ($^{\circ}$), ambos con aproximación de un décimo.
- J.3. Tanto para cementos asfálticos sin modificar como modificados, el módulo complejo (G^*) y el ángulo fase (δ), decrecen con el aumento del esfuerzo cortante. Se puede obtener una gráfica como la que se muestra en la Figura 2 de este Manual, incrementando gradualmente el valor del esfuerzo o la amplitud de la deformación. Aunque no es necesario elaborar gráficas como esta durante la prueba, son de utilidad para obtener los límites de la región en que el cemento asfáltico muestra un comportamiento viscoelástico lineal, que se observa en los valores pequeños de deformación, donde el módulo complejo es relativamente independiente de la deformación por cortante, es decir, que el valor del módulo complejo varía entre el 95 y el 100% del valor correspondiente a una deformación "cero". La extensión de esta región de comportamiento lineal varía con la magnitud del módulo complejo.
- J.4. El esfuerzo por cortante varía desde cero en el centro de los platos, hasta un valor máximo en su perímetro y es calculado a partir del esfuerzo de torsión, aplicado o medido, o de la deformación, aplicada o medida y de la geometría del espécimen de prueba.
- J.5. Además del resultado de la prueba, en el reporte se incluye:
 - J.5.1. El módulo complejo obtenido de las lecturas proporcionadas por el sistema de control y registro de datos del reómetro, en kPa, con aproximación de un milésimo.
 - J.5.2. El diámetro de los platos utilizados en mm con aproximación de un décimo y la separación entre platos con aproximación de un 1 μm .

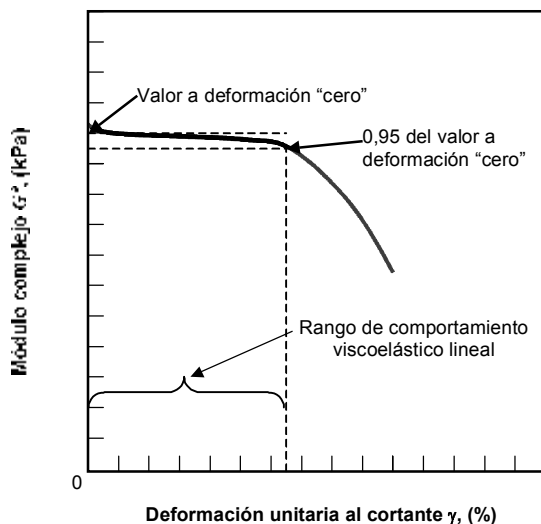


FIGURA 2.- Ejemplo de una gráfica para definir los límites del comportamiento viscoelástico lineal de un cemento asfáltico

- J.5.3.** La temperatura de prueba en °C con aproximación de un décimo.
- J.5.4.** La frecuencia de prueba en rad/s, con aproximación de un décimo.
- J.5.5.** La amplitud de la deformación unitaria en %, con aproximación de un centésimo, o el esfuerzo de torsión en mN·m con aproximación a la unidad.
- J.5.6.** La descripción completa del material probado incluyendo su código de identificación, tipo de recipiente de almacenaje y origen, entre otros.
- J.5.7.** La descripción general del equipo utilizado, especificando si es un reómetro de esfuerzo constante o de deformación constante e incluyendo modelo, tipo de cámara ambiental y demás información relevante para la descripción del aparato.
- J.5.8.** Los valores de deformación o de esfuerzo que se hayan utilizado, para determinar que la prueba se ha desarrollado dentro de la región lineal a que se refiere la Fracción J.3. de este Manual.
- J.5.9.** En caso que se observe que la prueba se ha realizado en el rango de comportamiento viscoelástico no lineal, se reportará el módulo complejo correspondiente a la deformación o al esfuerzo utilizados, indicando en el reporte que las condiciones de prueba estuvieron fuera de la región lineal.

K. PRECAUCIONES PARA EVITAR ERRORES

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

- K.1.** Realizar la prueba en un lugar cerrado, con ventilación indirecta, limpio y libre de corrientes de aire, de cambios de temperatura y de partículas que provoquen la contaminación de las muestras de prueba.
- K.2.** Verificar que el equipo esté calibrado de acuerdo con las instrucciones del fabricante y considerando lo indicado en la Cláusula E. de este Manual.
- K.3.** Que todo el equipo esté perfectamente limpio, para que al hacer la prueba la muestra no se mezcle con agentes extraños y se altere el resultado.

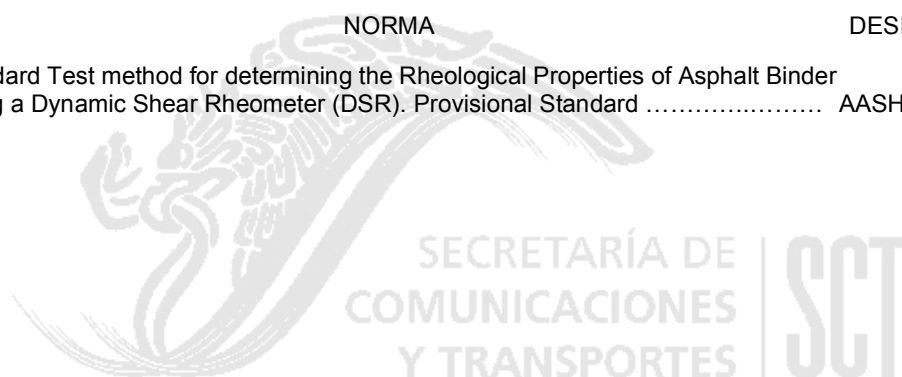
- K.4. Verificar que siempre se fluidifique totalmente la muestra antes de montarla entre los platos, ya que la estructura que se desarrolla durante su almacenaje puede provocar que se sobrestime su módulo complejo hasta en un 50%.
- K.5. Cuidar que el recorte de la muestra al montarla entre los platos se haga con la mayor exactitud posible, ya que una pequeña variación en el diámetro de la muestra puede alterar significativamente el resultado de la prueba.
- K.6. Cuidar que cuando se vayan a realizar pruebas a distintas temperaturas con la misma muestra, el tiempo total de prueba no sea mayor de 4 h, para que los valores obtenidos sean confiables.
- K.7. Cuidar que cuando se vayan a realizar mediciones múltiples a la misma muestra, no se despegue dicha muestra de los platos o se fracture, para que los valores obtenidos sean confiables.

L. BIBLIOGRAFÍA

- ♦ American Association for Testing and Materials (ASTM), Norma ASTM E 220, *Method for Calibration of Thermocouples by Comparison Techniques* (Método para la Calibración de Termocoples Mediante Técnicas de Comparación), EUA.

M. CONCORDANCIA CON OTRAS NORMAS

NORMA	DESIGNACIÓN
Standard Test method for determining the Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer (DSR). Provisional Standard	AASHTO-TP5-93



LIBRO: **MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES**

PARTE: **4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS**

TÍTULO: 05. Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas

CAPÍTULO: 026. *Recuperación Elástica en Ductilómetro*

A. CONTENIDO

Este Manual describe el procedimiento de prueba para determinar la recuperación elástica en ductilómetro de los materiales asfálticos modificados, a que se refiere la Norma N·CMT·4·05·002, *Calidad de Materiales Asfálticos Modificados*.

B. OBJETIVO DE LA PRUEBA

Esta prueba permite determinar la recuperación elástica del residuo de la prueba de película delgada y de los residuos asfálticos obtenidos por destilación de emulsiones. La prueba consiste en mantener una muestra de prueba estirada en un ductilómetro durante un tiempo determinado, después del cual se corta por la mitad, se deja reposar y finalmente se observa cuánto se recupera la deformación.

C. REFERENCIAS

Este Manual se complementa con la Norma N·CMT·4·05·002, *Calidad de Materiales Asfálticos Modificados*, así como con los Manuales M·MMP·4·05·010, *Pruebas en el Residuo de la Película Delgada de Cementos Asfálticos* y M·MMP·4·05·012, *Destilación de Emulsiones Asfálticas*.

D. EQUIPO Y MATERIALES

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.

D.1. DUCTILÓMETRO

Como el mostrado en la Figura 1 de este Manual, constituido fundamentalmente por un dispositivo para estirar la briqueta de material asfáltico a una velocidad uniforme y sin vibraciones perjudiciales, de tal manera que durante la prueba la muestra permanezca sumergida en el agua de un tanque de material resistente a la corrosión, ubicada a no menos de 2,5 cm tanto del nivel del agua como del fondo del tanque.

D.2. MOLDE PARA ELABORAR LA BRIQUETA

De latón, compuesto por dos mordazas y dos elementos laterales, con la forma y dimensiones mostradas en la Figura 2 de este Manual.

D.3. PLACA DE APOYO

Plana, lisa y rígida, de latón o bronce, con superficie de 15 × 5 cm como mínimo y espesor de 2 mm aproximadamente.



FIGURA 1.- Ductilómetro

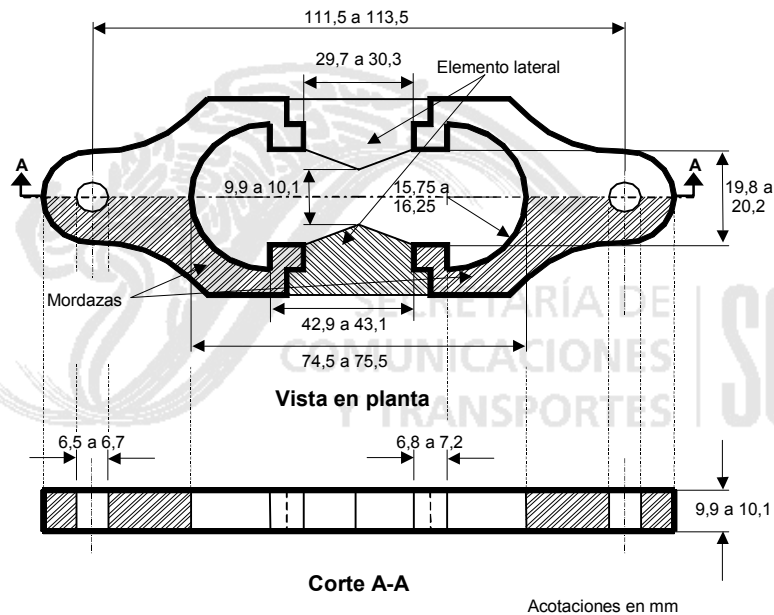


FIGURA 2.- Molde para elaborar la briqueta

D.4. BAÑO DE AGUA

Que permita mantener la temperatura a $25 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$, con una capacidad mínima de 10 L. Estará provisto de un entrepaño con perforaciones para colocar la muestra sumergida, ubicado a no menos de 5 cm del fondo del baño y 10 cm de la superficie libre del líquido.

D.5. TERMÓMETRO

Con rango de -8 a 32°C y aproximación de $0,1^{\circ}\text{C}$.

D.6. MALLA N°50

De $300 \mu\text{m}$ de abertura.

D.7. ESPÁTULA DE NÍQUEL

De borde recto y 20 cm de longitud.

D.8. CLORURO DE SODIO

De uso comercial.

D.9. ANTIADHERENTE

Aceite o grasa de silicón; una mezcla de glicerina y dextrina; talco o caolín, para recubrir la placa de apoyo y los elementos laterales, con lo que se evita su adherencia con el asfalto.

D.10. PAÑO

Para aplicar el antiadherente en la placa de apoyo y en los elementos laterales.

E. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Previamente a la preparación de la muestra, se aplica con el paño el antiadherente seleccionado en los dos elementos laterales del molde de la briqueta y en la superficie de la placa de apoyo, para evitar que se les adhiera el material asfáltico. Hecho lo anterior se coloca el molde sobre la placa de apoyo y se ajusta dejándolo en posición horizontal.

La muestra de prueba, según se trate del residuo de la prueba de película delgada de cementos asfálticos modificados o del residuo asfáltico obtenido por destilación de una emulsión modificada, se prepara como se indica a continuación:

E.1. MUESTRA DEL RESIDUO DE LA PRUEBA DE PELÍCULA DELGADA DE CEMENTOS ASFÁLTICOS MODIFICADOS

Del residuo de la prueba de película delgada, obtenido como se establece en el Manual M-MMP-4-05-010, *Pruebas en el Residuo de la Película Delgada de Cementos Asfálticos*, se toma un volumen ligeramente mayor al necesario para llenar el molde de la briqueta y se calienta en un recipiente apropiado, agitándolo en forma continua con el objeto de distribuir la temperatura uniformemente, hasta que adquiera la fluidez suficiente para facilitar su vaciado en el molde, cuidando que durante su calentamiento la temperatura no exceda de 130°C y que la operación se realice en un lapso menor de 30 min. Hecho esto, inmediatamente se llena el molde previamente preparado como se indica en la Cláusula E. de este Manual, para hacer la briqueta, pasando la muestra de prueba por la malla N°50, agitándola perfectamente y vertiéndola cuidadosamente, mediante un chorro delgado que se mueve a lo largo del molde, hasta rebasar ligeramente el nivel de enrase, evitando la formación de burbujas de aire. Finalmente se cubre la briqueta adecuadamente para protegerla del polvo y se deja enfriar durante 30 a 40 min hasta que alcance la temperatura ambiente.

E.2. MUESTRA DEL RESIDUO POR DESTILACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA MODIFICADA

Inmediatamente después de obtener el residuo por destilación de la emulsión asfáltica mediante el procedimiento de prueba indicado en el Manual M-MMP-4-05-012, *Destilación de Emulsiones Asfálticas*, se destapa el alambique utilizado en esa prueba, se homogeneiza su contenido con la espátula y se elabora una briqueta llenando el molde previamente preparado como se indica en la Cláusula E. de este Manual, haciendo pasar la muestra de prueba por la malla N°50, agitándola perfectamente y vertiéndola cuidadosamente mediante un chorro delgado que se mueve a lo largo del molde, hasta rebasar ligeramente el nivel de enrase, evitando la formación de burbujas de aire. Finalmente se cubre adecuadamente la briqueta para protegerla del polvo y se deja enfriar durante 30 a 40 min hasta que alcance la temperatura ambiente.

F. PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA

- F.1.** Una vez enfriado el molde que contiene la briqueta, se coloca dentro del baño de agua, a una temperatura de $25 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$, durante 30 min; se saca del baño y se enrasa la briqueta cortando el exceso de material con una espátula de borde recto previamente calentada para facilitar el corte. Se vuelve a introducir en el baño a la misma temperatura durante 90 ± 5 min.
- F.2.** A continuación se quitan los elementos laterales del molde y se retira la briqueta de la placa. De inmediato se instala con sus mordazas en el ductilómetro previamente preparado con agua a $25 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$, sujetando los extremos de éstas en los postes o ganchos del aparato, debiendo quedar sumergida con su cara superior a no menos de 2,5 cm de la superficie. Durante la prueba se mantendrá el agua a la temperatura indicada.
- F.3.** Se pone en marcha el mecanismo de prueba a una velocidad de 5 cm/min, con una variación de $\pm 5\%$, hasta que la briqueta se haya deformado 20 cm, momento en el cual se detiene el mecanismo y se mantiene al espécimen en esta posición durante 5 min. Se procede enseguida a cortar por el centro al espécimen con unas tijeras, permitiéndole permanecer intacto en el ductilómetro por 1 h. Al final del periodo, se desliga el mecanismo del ductilómetro y se regresa la mitad del espécimen hasta que los extremos cortados se toquen; en este momento se lee el desplazamiento de la mordaza y se registra en cm.

G. CÁLCULOS Y RESULTADOS

Se reporta como recuperación elástica, el porcentaje de deformación recuperado respecto a la deformación total, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$R = \frac{20 - x}{20} \times 100$$

Donde:

R = Recuperación elástica en ductilómetro, (%)

x = Lectura del desplazamiento de la mordaza al unir los extremos cortados del espécimen, (cm)

H. PRECAUCIONES PARA EVITAR ERRORES

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

- H.1.** Realizar la prueba bajo las condiciones de temperatura que se indican.
- H.2.** Evitar que durante el llenado del molde de la briqueta se generen burbujas de aire en la superficie o en el interior de la muestra de prueba.
- H.3.** Procurar que al estirar la briqueta ésta no toque el fondo del tanque del ductilómetro o la superficie del agua, de lo contrario, se repetirá la prueba agregándole cloruro de sodio al agua del tanque para aumentar su densidad o alcohol metílico para disminuirla y lograr que la briqueta al ser estirada se mantenga en posición sensiblemente horizontal.

LIBRO: **MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES**

PARTE: **4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS**

TÍTULO: 04. Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas

CAPÍTULO: 006. *Desgaste Mediante la Prueba de Los Ángeles de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*

A. CONTENIDO

Este Manual describe el procedimiento de prueba para determinar mediante la máquina de Los Ángeles, la resistencia a la trituración de los materiales pétreos a que se refiere la Norma N-CMT-4-04, *Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*, en muestras tomadas conforme al Manual M-MMP-4-04-001, *Muestreo de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*.

B. OBJETIVO DE LA PRUEBA

El objetivo de la prueba es determinar la resistencia a la trituración de los materiales pétreos empleados en mezclas asfálticas. La prueba consiste en colocar una muestra del material con características granulométricas específicas dentro de un cilindro giratorio, en donde es sometida al impacto de esferas metálicas durante un tiempo determinado, midiendo la variación granulométrica de la muestra como la diferencia entre la masa que pasa la malla N°12 (1,7 mm de abertura), antes y después de haber sido sometida a este tratamiento.

C. REFERENCIAS

Este Manual se complementa con las siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	N-CMT-4-04
Muestreo de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	M-MMP-4-04-001
Granulometría de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	M-MMP-4-04-002

D. EQUIPO Y MATERIALES

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.

D.1. MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

Como la mostrada en la Figura 1 de este Manual, constituida por un cilindro de acero, hueco y cerrado en ambos extremos, con diámetro interior de 710 ± 5 mm y largo de 510 ± 5 mm, montado sobre dos soportes ubicados al centro de sus caras paralelas, que le permitan girar sobre su eje de simetría en posición horizontal con una velocidad angular de 30 a 33 rpm. El cilindro tendrá una abertura que permita introducir la muestra de prueba y las esferas metálicas, con una tapa de cierre hermético diseñada con la misma curvatura del cilindro para que la superficie interior del mismo sea continua y uniforme; además tendrá en su parte interior una

placa de acero removible de 2,5 cm (1") de espesor, que se proyecte radialmente 8,9 cm (3½") en toda la longitud del cilindro y contará con un dispositivo para registrar el número de revoluciones que dé el cilindro.

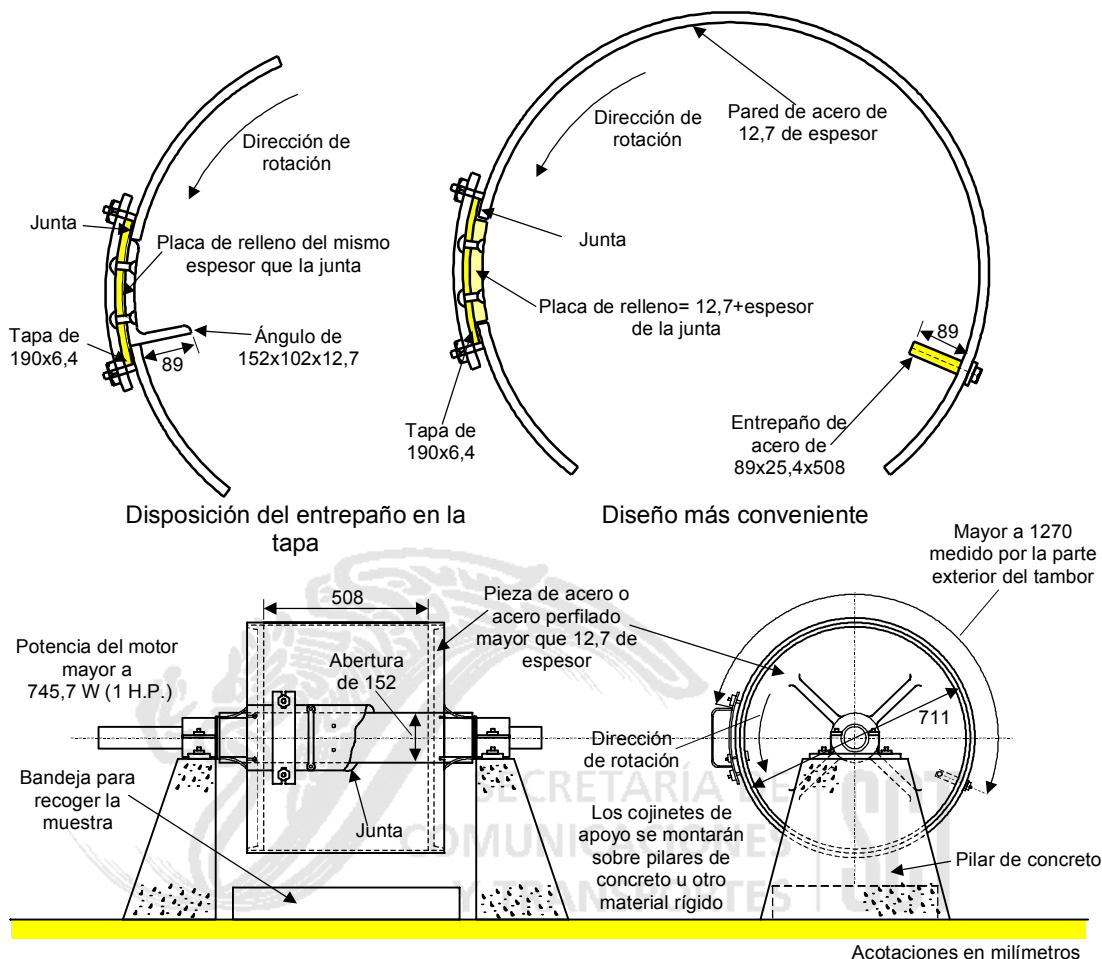


FIGURA 1.- Máquina de Los Ángeles

D.2. CARGA ABRASIVA

Esferas de hierro fundido o acero, con un diámetro promedio de 47 mm y una masa de entre 390 y 445 g cada una.

D.3. JUEGO DE MALLAS (CRIBAS)

Fabricadas con alambre de bronce o de acero inoxidable de diversos calibres, tejidos en forma de cuadrícula, con abertura determinada conforme a lo indicado en la Tabla 1 de este Manual. El tejido estará sostenido mediante un bastidor circular metálico, de lámina de bronce o latón, de 206 ± 2 mm de diámetro interior y 68 ± 2 mm de altura, sujetando la malla rígida y firmemente mediante un sistema de engargolado de metales, a una distancia de 50 mm del borde superior del bastidor.

D.4. HORNO

Eléctrico o de gas, con capacidad mínima de 20 dm³, ventilado, con termostato capaz de mantener una temperatura constante de 110 ± 5°C.

TABLA 1.- Juego de mallas

Designación	Abertura mm
2"	50
1½"	37,5
1"	25
¾"	19
½"	12,5
⅜"	9,5
¼"	6,3
Nº4	4,75
Nº10	2
Nº12 ^[1]	1,7

[1] Esta malla sólo se usará para el lavado del material posterior al tratamiento de desgaste, por lo que no se incluye en la obtención de la granulometría del material

D.5. BALANZA

Con capacidad de 20 kg y aproximación de 0,1 g.

D.6. MÁQUINA AGITADORA PARA LAS MALLAS

De acción mecánica, activada por un motor eléctrico o manivela de velocidad constante, mediante el cual se transmite un movimiento excéntrico controlado a un plato de soporte, sobre el que se sujeten las mallas en orden descendente.

D.7. CUCHARÓN

De acero galvanizado de 20 cm de largo, 11 cm de ancho y 10 cm de altura, formando un cajón rectangular con cuatro caras, cuya cara menor tenga un mango metálico de sección circular de 13 cm de largo.

D.8. CHAROLAS

De lámina galvanizada, con forma rectangular de aproximadamente 40 × 70 × 20 cm.

D.9. AGUA

Potable.

E. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

La preparación de la muestra de materiales pétreos, obtenida según se establece en el Manual M-MMP-4-04-001, *Muestreo de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*, se hace de la siguiente manera:

E.1. De la muestra del material envasado que se recibe en laboratorio, se disgrega de forma manual el material que presente grumos, teniendo la precaución de no fragmentarlo por la presión aplicada. Hecho lo anterior, se *cuartea* el material hasta obtener una muestra de aproximadamente 40 kg, como se describe a continuación:

E.1.1. Una vez que el material está disgregado, se apila hasta formar un cono.

E.1.2. Desde el eje del cono y hacia la periferia se extiende el material hasta formar un cono truncado de 15 a 20 cm de altura.

E.1.3. Se divide el cono truncado en cuatro partes iguales, de las cuales se toman dos cuartos opuestos para formar una muestra de aproximadamente 40 kg; en caso de exceder esta masa, se procede a reducir la cantidad de material mediante cuarteos sucesivos.

E.2. La muestra resultante se lava mediante un chorro de agua para eliminar el polvo adherido y posteriormente se seca en el horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ hasta masa constante.

E.3. Considerando el arreglo de mallas indicado en la Tabla 1 de este Manual, el material de la muestra se separa y clasifica obteniendo su granulometría, de acuerdo con el procedimiento establecido en el Manual M-MMP-4-04-002, *Granulometría de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*, eliminando el material que pase por la malla N°10.

F. PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA

F.1. Una vez separado y clasificado el material de la muestra, de la Tabla 2 se elige el tipo de composición que se utilizará para integrar la muestra de prueba, que mejor se asemeje a las características granulométricas obtenidas como se indica en la Fracción E.3. de este Manual.

F.2. Se integra la muestra de prueba con las proporciones correspondientes a cada rango de tamaños, de acuerdo con las cantidades indicadas en la Tabla 2 de este Manual.

F.3. Se obtiene la masa de la muestra de prueba integrada, registrándola como P_i , con aproximación de 1 g y se introduce a la máquina de Los Ángeles.

F.4. De acuerdo con lo indicado en la Tabla 2 de este Manual, se define la cantidad de esferas requeridas y se verifica que su masa total cumpla con lo establecido en dicha Tabla. Hecho lo anterior, se introducen las esferas a la máquina de Los Ángeles y se hace funcionar a una velocidad angular de 30 a 33 rpm, durante 500 revoluciones.

F.5. Se retira el material del interior de la máquina depositándolo en una charola. Se desecha la fracción de la muestra de prueba que pase la malla N°12 (1,7 mm de abertura), para lo que se puede hacer pasar el material por todas las mallas indicadas en la Tabla 1 de este Manual. Una vez desechado el material menor de 1,7 mm, se lava la muestra de prueba con un chorro de agua y se seca en el horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ hasta masa constante.

TABLA 2.- Composición de la muestra de prueba y cargas abrasivas

Tipo de composición de la muestra de prueba	Rango de tamaños		Masa de la fracción g	Carga abrasiva	
	mm	Designación		Número de esferas	Masa total g
A	37,5 - 25	1½" - 1"	1 250 ± 25	12	5 000 ± 25
	25 - 19	1" - ¾"	1 250 ± 25		
	19 - 12,5	¾" - ½"	1 250 ± 10		
	12,5 - 9,5	½" - ⅜"	1 250 ± 10		
	Masa total de la muestra de prueba		5 000 ± 10		
B	19 - 12,5	¾" - ½"	2 500 ± 10	11	4 584 ± 25
	12,5 - 9,5	½" - ⅜"	2 500 ± 10		
	Masa total de la muestra de prueba		5 000 ± 10		
C	9,5 - 6,3	⅜" - ¼"	2 500 ± 10	8	3 330 ± 20
	6,3 - 4,75	¼" - N°4	2 500 ± 10		
	Masa total de la muestra de prueba		5 000 ± 10		
D	4,75 - 2	N°4 - N°10	5 000 ± 10	6	2 500 ± 15

F.6. Finalmente se deja enfriar la muestra de prueba a temperatura ambiente, para determinar su masa con aproximación de 0,1 g, registrándola como P_f .

G. CÁLCULOS Y RESULTADOS

Se calcula y reporta como resultado de la prueba, el desgaste por trituración, utilizando la siguiente expresión:

$$P_a = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

Donde:

P_a = Desgaste por trituración Los Ángeles, (%)

P_i = Masa inicial de la muestra de prueba, (g)

P_f = Masa final del material de la muestra de prueba mayor de 1,7 mm (malla N°12), (g)

H. PRECAUCIONES PARA EVITAR ERRORES

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

- H.1. Realizar la prueba en un lugar cerrado, con ventilación indirecta, limpio y libre de corrientes de aire que puedan provocar la contaminación de la muestra de prueba con otras partículas.
- H.2. Verificar que la muestra esté perfectamente seca al momento de efectuar los cribados.
- H.3. Que todo el equipo esté perfectamente limpio y funcional. Especialmente las mallas estarán limpias y sin indicios de falla, es decir, que los hilos presenten aberturas uniformes y no estén dañados ni rotos.
- H.4. Que la máquina de Los Ángeles esté perfectamente limpia y libre de residuos de material en su interior, que el mecanismo de control de revoluciones trabaje correctamente y que la placa radial cumpla con las dimensiones indicadas en la Fracción D.1. de este Manual.
- H.5. Verificar que las esferas cumplan con las dimensiones y masas indicadas en la Tabla 2 y la Fracción D.2. de este Manual, respectivamente.
- H.6. Verificar que la balanza esté limpia en todas sus partes, bien calibrada y colocada en una superficie horizontal, sin vibraciones que alteren las lecturas.
- H.7. Verificar que el horno esté limpio y completo en todas sus partes y que su termostato trabaje correctamente.
- H.8. Cuidar que la muestra de prueba esté integrada conforme a alguna de las composiciones indicadas en la Tabla 2 de este Manual.

**LIBRO: CMT. CARACTERÍSTICAS DE
LOS MATERIALES**

PARTE: 4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS

TÍTULO: 04. Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas

A. CONTENIDO

Esta Norma contiene los requisitos de calidad de los materiales pétreos que se utilicen en la elaboración de mezclas asfálticas.

B. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

Los materiales pétreos que comprende esta Norma son los materiales naturales seleccionados o sujetos a tratamientos de disgregación, cribado, trituración o lavado, que aglutinados con un material asfáltico se emplean en la elaboración de las mezclas asfálticas a que se refiere la Norma N-CMT-4-05-003, *Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras*.

Según el tipo de mezcla en el que se vayan a utilizar, los materiales pétreos se clasifican como se indica a continuación y se detalla en las Cláusulas D. a H. de esta Norma.

- Materiales pétreos para mezclas asfálticas de granulometría densa
- Materiales pétreos para mezclas asfálticas de granulometría abierta
- Materiales pétreos para mortero asfáltico
- Materiales pétreos para carpetas por el sistema de riegos
- Materiales pétreos para mezclas asfálticas para guarniciones

C. REFERENCIAS

Esta Norma se complementa con las siguientes:

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-04/03

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras	N-CMT-4-05-003
Muestreo de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	M-MMP-4-04-001
Granulometría de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	M-MMP-4-04-002
Densidad Relativa de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	M-MMP-4-04-003
Equivalente de Arena de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	M-MMP-4-04-004
Partículas Alargadas y Lajeadas de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	M-MMP-4-04-005
Desgaste Mediante la Prueba de Los Ángeles de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	M-MMP-4-04-006
Intemperismo Acelerado de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	M-MMP-4-04-008
Desprendimiento por Fricción en Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	M-MMP-4-04-009
Cubrimiento con Asfalto mediante el Método Inglés de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	M-MMP-4-04-010
Desgaste por Abrasión en Húmedo de Morteros Asfálticos	M-MMP-4-05-041
Pérdida de Estabilidad por Inmersión en Agua de Mezclas Asfálticas	M-MMP-4-05-042

D. REQUISITOS DE CALIDAD DE MATERIALES PÉTREOS PARA CARPETAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA DENSA

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

- D.1. Cuando el tránsito esperado (ΣL) sea igual a un (1) millón de ejes equivalentes o menor, el material pétreo, según su tamaño nominal, cumplirá con las características granulométricas que se establecen en la Tabla 1 o bien las señaladas en la Tabla 3, así como con los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 2 de

NORMAS

N-CMT-4-04/03

esta Norma. Se hace notar que no podrán utilizarse materiales con granulometrías entre una u otra zona granulométrica.

TABLA 1.- Requisitos de granulometría del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa (únicamente para $\Sigma L \leq 10^6$)

Malla		Tamaño nominal del material pétreo mm (in)				
Abertura mm	Designación	12,5 (½)	19 (¾)	25 (1)	37,5 (1½)	50 (2)
Porcentaje que pasa						
50	2"	---	---	---	---	100
37,5	1½"	---	---	---	100	90 - 100
25	1"	---	---	100	90 - 100	76 - 90
19	¾"	---	100	90 - 100	79 - 92	66 - 83
12,5	½"	100	90 - 100	76 - 89	64 - 81	53 - 74
9,5	⅜"	90 - 100	79 - 92	67 - 82	56 - 75	47 - 68
6,3	¼"	76 - 89	66 - 81	56 - 71	47 - 65	39 - 59
4,75	Nº4	68 - 82	59 - 74	50 - 64	42 - 58	35 - 53
2	Nº10	48 - 64	41 - 55	36 - 46	30 - 42	26 - 38
0,85	Nº20	33 - 49	28 - 42	25 - 35	21 - 31	19 - 28
0,425	Nº40	23 - 37	20 - 32	18 - 27	15 - 24	13 - 21
0,25	Nº60	17 - 29	15 - 25	13 - 21	11 - 19	9 - 16
0,15	Nº100	12 - 21	11 - 18	9 - 16	8 - 14	6 - 12
0,075	Nº200	7 - 10	6 - 9	5 - 8	4 - 7	3 - 6

TABLA 2.- Requisitos de calidad del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa (únicamente para $\Sigma L \leq 10^6$)

Característica	Valor
Densidad relativa, mínimo	2,4
Desgaste Los Ángeles; %, máximo	35
Partículas alargadas y lajeadas; %, máximo	40
Equivalente de arena; %, mínimo	50
Pérdida de estabilidad por inmersión en agua; %, máximo	25

D.2. Si el tránsito esperado (ΣL) es mayor de un (1) millón de ejes equivalentes, el material pétreo cumplirá con las características granulométricas que se establecen en la Tabla 3 y con los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 4 de esta Norma.

E. REQUISITOS DE CALIDAD DE MATERIALES PÉTREOS PARA CARPETAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA ABIERTA

El material pétreo que se emplee en la elaboración de carpetas asfálticas de granulometría abierta, generalmente con mezcla en caliente, cumplirá con las características granulométricas que se establecen en la Tabla 5, en función del espesor de la carpeta, así

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-04/03

como con los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 6 de esta Norma.

TABLA 3.- Requisitos de granulometría del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa (para cualquier valor de ΣL)

Malla		Tamaño nominal del material pétreo mm (in)				
Abertura mm	Designación	12,5 (½)	19 (¾)	25 (1)	37,5 (1½)	50 (2)
Porcentaje que pasa						
50	2"	---	---	---	---	100
37,5	1½"	---	---	---	100	90 - 100
25	1"	---	---	100	90 - 100	74 - 90
19	¾"	---	100	90 - 100	79 - 90	62 - 79
12,5	½"	100	90 - 100	72 - 90	58 - 71	46 - 60
9,5	⅜"	90 - 100	76 - 90	60 - 76	47 - 60	39 - 50
6,3	¼"	70 - 81	56 - 69	44 - 57	36 - 46	30 - 39
4,75	Nº4	56 - 69	45 - 59	37 - 48	30 - 39	25 - 34
2	Nº10	28 - 42	25 - 35	20 - 29	17 - 24	13 - 21
0,85	Nº20	18 - 27	15 - 22	12 - 19	9 - 16	6 - 13
0,425	Nº40	13 - 20	11 - 16	8 - 14	5 - 11	3 - 9
0,25	Nº60	10 - 15	8 - 13	6 - 11	4 - 9	2 - 7
0,15	Nº100	6 - 12	5 - 10	4 - 8	2 - 7	1 - 5
0,075	Nº200	2 - 7	2 - 6	2 - 5	1 - 4	0 - 3

TABLA 4.- Requisitos de calidad del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa (para $\Sigma L > 10^6$)

Característica	Valor
Densidad relativa, mínimo	2,4
Desgaste Los Angeles; %, máximo	30
Partículas alargadas y lajeadas; %, máximo	35
Equivalente de arena; %, mínimo	50
Pérdida de estabilidad por inmersión en agua; %, máximo	25

F. REQUISITOS DE CALIDAD DE MATERIALES PÉTREOS PARA CARPETAS DE MORTERO ASFÁLTICO

El material pétreo que se utilice en la elaboración de carpetas de mortero asfáltico, generalmente con mezcla en frío, cumplirá con las características granulométricas que se establecen en la Tabla 7 y con los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 8 de esta Norma.

NORMAS

N-CMT-4-04/03

TABLA 5.- Requisitos granulométricos del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría abierta

Malla		Porcentaje que pasa	
Abertura mm	Designación	Para espesores ≤ 4 cm	Para espesores > 4 cm
25	1"	--	100
19	¾"	100	62 - 100
12,5	½"	65 - 100	45 - 70
9,5	⅜"	48 - 72	33 - 58
6,3	¼"	30 - 52	22 - 43
4,75	N°4	18 - 38	14 - 33
2	N°10	5 - 19	5 - 19
0,075	N°200	2 - 4	2 - 4

TABLA 6.- Requisitos de calidad del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría abierta

Característica ^[1]	Valor
Densidad relativa, mínimo	2,4
Desgaste Los Ángeles; %, máximo	30
Partículas alargadas y lajeadas; %, máximo	25
Equivalente de arena; %, mínimo	50
Pérdida de estabilidad por inmersión en agua; %, máximo	25

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

TABLA 7.- Requisitos de granulometría del material pétreo para carpetas de mortero asfáltico

Malla		Porcentaje que pasa
Abertura mm	Designación	
4,75	N°4	100
2	N°10	89 - 100
0,85	N°20	43 - 72
0,425	N°40	26 - 53
0,25	N°60	17 - 41
0,15	N°100	10 - 30
0,075	N°200	5 - 15

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-04/03

TABLA 8.- Requisitos de calidad del material pétreo para carpetas de mortero asfáltico

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

G. REQUISITOS DE CALIDAD DE MATERIALES PÉTREOS PARA CARPETAS POR EL SISTEMA DE RIEGOS

El material pétreo que se utilice en la elaboración de carpetas construidas por el sistema de riegos, según su denominación, cumplirá con las características granulométricas que se establecen en la Tabla 9, así como con los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 10 de esta Norma.

TABLA 9.- Requisitos de granulometría del material pétreo para carpetas por el sistema de riegos

Malla		Denominación del material pétreo				
Abertura mm	Designación	1	2	3-A	3-B	3-E
31,5	1 1/4"	100	---	---	---	---
25	1"	95 mín	---	---	---	---
19	3/4"	---	100	---	---	---
12,5	1/2"	5 máx	95 mín	100	---	100
9,5	3/8"	---	---	95 mín	100	95 mín
6,3	1/4"	0	5 máx	---	95 mín	---
4,75	N°4	---	---	---	---	5 máx
2	N°10	---	0	5 máx	5 máx	0
0,425	N°40	---	---	0	0	---

TABLA 10.- Requisitos de calidad del material pétreo para carpetas por el sistema de riegos

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

NORMAS

N-CMT-4-04/03

H. REQUISITOS DE CALIDAD DE MATERIALES PÉTREOS PARA GUARNICIONES

El material pétreo que se utilice en la elaboración de mezclas asfálticas para guarniciones cumplirá con las características granulométricas que se establecen en la Tabla 11 y con los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 12 de esta Norma.

TABLA 11.- Requisitos de granulometría del material pétreo que se utilice en mezclas asfálticas para guarniciones

Malla		Porcentaje que pasa
Abertura mm	Designación	
19	¾"	100
12,5	½"	87 - 100
9,5	⅜"	79 - 100
6,3	¼"	68 - 100
4,75	Nº4	60 - 100
2	Nº10	40 - 91
0,85	Nº20	28 - 61
0,425	Nº40	20 - 42
0,25	Nº60	14 - 33
0,15	Nº100	10 - 25
0,075	Nº200	3 - 15

TABLA 12.- Requisitos de calidad del material pétreo para guarniciones asfálticas

Característica	Valor
Equivalente de arena; %, mínimo	50

I. ALMACENAMIENTO DE MATERIALES PÉTREOS

Con el propósito de evitar la alteración de las características de los materiales pétreos antes de su utilización en la obra, ha de tenerse cuidado en su almacenamiento, atendiendo los siguientes aspectos:

- I.1. El material pétreo, una vez tratado, se almacenará en tolvas o silos metálicos sin orificios, con superficie interior lisa y limpia, o bien en un sitio específicamente destinado para tal uso. Cuando en dicho sitio no se cuente con un firme, previamente a su utilización se deberá:

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-04/03

- Remover la materia vegetal y limpiar la superficie.
 - Conformar, nivelar y compactar la superficie dejando una sección transversal uniforme que permita el drenaje.
 - Colocar, compactar y mantener sobre el terreno, una capa de quince (15) centímetros de espesor como mínimo, utilizando el mismo material pétreo por almacenar, para evitar la contaminación del resto del material que se coloque encima.
- I.2.** Durante el almacenamiento se evitará la circulación de vehículos sobre los montículos de materiales, pero en caso de que esto sea estrictamente necesario, se colocará un camino de tablas para evitar la contaminación del material pétreo.
- I.3.** Para evitar que lleguen a mezclarse montículos de distintos materiales pétreos, estarán lo suficientemente alejados uno del otro o separados entre sí por paredes colocadas con tal propósito.
- I.4.** Cuando el material pétreo no vaya a usarse por un periodo prolongado, es conveniente que se cubra con lonas para protegerlo del clima.

J. CRITERIOS PARA ACEPTACIÓN O RECHAZO

La aceptación de los materiales pétreos por parte de la Secretaría, se hará considerando lo siguiente:

- J.1.** El encargado de elaborar el estudio del banco, es el responsable de determinar, a nivel estudio, que el material pétreo cumpla con las características y los requisitos de calidad indicados en esta Norma, según el tipo de material pétreo establecido en el proyecto, en muestras obtenidas y preparadas como se establece en el Manual M-MMP-4-04-001, *Muestreo de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*, mediante los procedimientos de prueba contenidos en los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma.
- J.2.** En el caso de que el Contratista de Obra seleccione el banco, éste será el responsable de demostrar que el material pétreo cumple con las características y los requisitos de calidad señalados en esta Norma, considerando lo indicado en la Fracción anterior, para su aprobación por parte del Residente. El Contratista de Obra

NORMAS

N-CMT-4-04/03

entregará a la Secretaría un certificado de calidad que garantice el cumplimiento de todos los requisitos establecidos en esta Norma, expedido por su propio laboratorio o por un laboratorio externo aprobado por la Secretaría.

- J.3.** Durante el proceso de producción, con objeto de controlar la calidad del material pétreo en la ejecución de la obra, el Contratista de Obra, por cada doscientos cincuenta (250) metros cúbicos o fracción del material de un mismo tipo, extraído del banco, realizará las pruebas necesarias que aseguren que cumple con la granulometría y el equivalente de arena establecidos en esta Norma y entregará a la Secretaría los resultados de dichas pruebas. Las pruebas se realizarán en muestras obtenidas y preparadas como se establece en el Manual M-MMP-4-04-001, *Muestreo de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas* y mediante los procedimientos de prueba contenidos en los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma. Será motivo de rechazo por parte de la Secretaría, el incumplimiento de cualquiera de los requisitos mencionados en esta Fracción.
- J.4.** Además de lo señalado en la Fracción anterior, el Contratista de Obra, por cada dos mil quinientos (2 500) metros cúbicos de producción del banco, realizará las pruebas necesarias que aseguren que el material pétreo cumple con todos los requisitos establecidos en esta Norma, según el tipo de material de que se trate y entregará a la Secretaría los resultados de dichas pruebas. Las pruebas se realizarán en muestras obtenidas y preparadas como se establece en el Manual M-MMP-4-04-001, *Muestreo de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas* y mediante los procedimientos de prueba contenidos en los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma. Será motivo de rechazo por parte de la Secretaría, el incumplimiento de cualquiera de los requisitos establecidos.
- J.5.** En cualquier momento, la Secretaría puede verificar que el material suministrado cumpla con cualquiera de los requisitos de calidad establecidos en esta Norma, según el tipo de material de que se trate, siendo motivo de rechazo el incumplimiento de cualquiera de ellos.

LIBRO: **CMT. CARACTERÍSTICAS DE
LOS MATERIALES**

PARTE: **4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS**

TÍTULO: 05. Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas

CAPÍTULO: 004. *Calidad de Materiales Asfálticos Grado PG*

A. CONTENIDO

Esta Norma contiene los requisitos de calidad de los cementos asfálticos Grado PG, para ser utilizados en la elaboración de mezclas asfálticas o para la fabricación de emulsiones asfálticas, que se utilicen en la construcción de carpetas estructurales o carpetas delgadas de rodamiento, ya sea como cementos asfálticos convencionales o modificados.

B. DEFINICIONES

B.1. CEMENTOS ASFÁLTICOS GRADO PG

Son aquellos cuyo comportamiento en los pavimentos está definido por las temperaturas máxima y mínima que se esperan en el lugar de su aplicación, dentro de las cuales se asegura un desempeño (performance) adecuado para resistir deformaciones o agrietamientos por temperaturas bajas o por fatiga, en condiciones de trabajo que se han correlacionado con ensayos especiales y simulaciones de envejecimiento a corto y a largo plazo. Estos ensayos miden propiedades físicas que pueden ser directamente relacionadas, mediante principios de ingeniería, con el comportamiento en obra, y forman parte de los productos del Programa de Investigación de Carreteras desarrollado por la Unión Americana, conocida como la Tecnología SHRP.

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-05-004/05

B.2. GRADO DE DESEMPEÑO (PG)

El grado de desempeño o Grado PG es el rango de temperaturas, máxima a mínima, entre las que un cemento asfáltico se desempeña satisfactoriamente. El Grado PG permite seleccionar el cemento asfáltico más adecuado para una determinada obra, en función del clima dominante y de la magnitud del tránsito a que estará sujeta durante su vida útil.

Un cemento asfáltico clasificado como PG 64-22 tendrá un desempeño satisfactorio cuando trabaje a temperaturas tan altas como sesenta y cuatro (64) grados Celsius y tan bajas como menos veintidós (-22) grados Celsius. Las temperaturas máximas y mínimas se extienden tanto como sea necesario con incrementos estandarizados de seis (6) grados. Sin embargo, generalmente las temperaturas máximas se consideran de sesenta y cuatro (64) a ochenta y ocho (88) grados Celsius y las mínimas, de menos cuarenta (-40) a menos veintidós (-22) grados Celsius.

Los grados PG pueden ser tantos y tan amplios como la gama de temperaturas que se registran en el país, sin embargo, para fines prácticos, es recomendable seleccionar un cemento asfáltico que corresponda a uno de los tres (3) grados PG que se indican en la Figura 1 de esta Norma, de acuerdo con el clima de la zona geográfica donde se le pretenda utilizar, de entre las zonas en que se ha dividido la República Mexicana que se muestran en la misma Figura, pero considerando que dentro de una misma zona, las condiciones del clima en un área determinada pueden variar, lo que se debe tomar en cuenta para elegir el Grado PG adecuado.

La temperatura máxima del Grado PG seleccionado según el clima, se ajusta de acuerdo con la intensidad del tránsito esperada en términos del número de ejes equivalentes de ocho coma dos (8,2) toneladas, acumulados durante un periodo de servicio del pavimento de diez (10) años (ΣL_{10}) y de acuerdo con la velocidad de operación, como se indica en la Tabla 1 de esta Norma.

C. REFERENCIAS

Esta Norma se complementa con los siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Calidad de Materiales Asfálticos.....	N-CMT-4-05-001

NORMAS

N-CMT-4-05-004/05

Calidad de Materiales Asfálticos Modificados	N-CMT-4-05-002
Muestreo de Materiales Asfálticos	M-MMP-4-05-001
Viscosidad Dinámica de Cementos y Residuos Asfálticos	M-MMP-4-05-002
Viscosidad Rotacional Brookfield de Cementos Asfálticos	M-MMP-4-05-005
Punto de Inflamación Cleveland en Cementos Asfálticos	M-MMP-4-05-007
Módulo Reológico de Corte Dinámico	M-MMP-4-05-025
Pérdida por Calentamiento de Película de Asfalto en Movimiento Rotatorio	M-MMP-4-05-027
Envejecimiento a Largo Plazo Presurizado del Ligante Asfáltico	M-MMP-4-05-028
Rigidez de Flexión de Deformación del Ligante Asfáltico.....	M-MMP-4-05-029

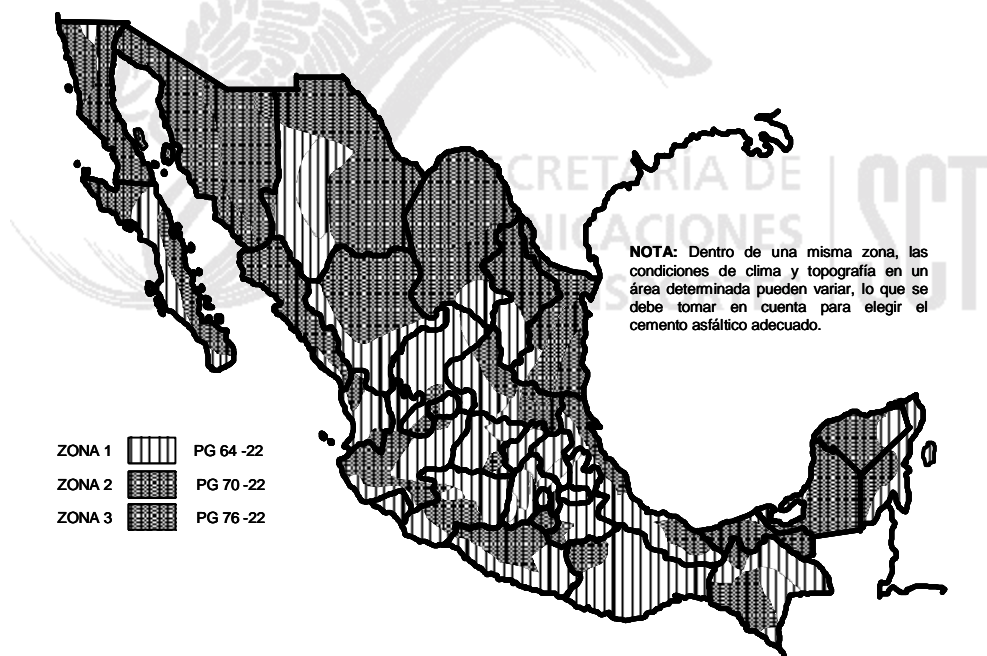


FIGURA 1.- Regiones geográficas para la utilización recomendable de cementos asfálticos Grado PG

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-05-004/05

TABLA 1.- Ajustes del Grado PG seleccionado por clima de acuerdo con la intensidad del tránsito esperada y con la velocidad de operación

Intensidad del tránsito (ΣL_{10}) ^[1]	Grado PG seleccionado por clima	Ajuste por intensidad del tránsito	Ajuste por velocidad lenta (Entre 10 y 30 km/h)	Ajuste por tránsito detenido (Cruceros)
$\Sigma L_{10} < 10^6$	PG 64	PG 64	PG 70	PG 76
	PG 70	PG 70	PG 76	PG 82
	PG 76	PG 76	PG 82	PG 88
$10^6 \leq \Sigma L_{10} \leq 10^7$	PG 64	PG 70	PG 76	PG 82
	PG 70	PG 76	PG 82	PG 88
	PG 76	PG 82	PG 88	PG 88
$\Sigma L_{10} > 10^7$	PG 64	PG 76	PG 82	PG 88
	PG 70	PG 82	PG 88	PG 88
	PG 76	PG 88	PG 88	PG 88

[1] ΣL_{10} = Número de ejes equivalentes de 8,2 t (ESAL), esperado durante un periodo de servicio del pavimento de 10 años.

D. REQUISITOS DE CALIDAD PARA CEMENTOS ASFÁLTICOS GRADO PG

- D.1.** Los cementos asfálticos Grado PG, antes y después de envejecidos en el laboratorio para simular las condiciones del envejecimiento que se espera tengan durante su vida útil en la obra, cumplirán con los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 2 de esta Norma.
- D.2.** Cuando un cemento asfáltico Grado PG se utilice para producir una emulsión asfáltica convencional que se empleará para la construcción de una carpeta estructural o de una carpeta delgada de rodamiento, además de satisfacer lo establecido en la Fracción anterior, la emulsión asfáltica, según su tipo, cumplirá con los requisitos de calidad indicados en la Norma N-CMT-4-05-001, *Calidad de Materiales Asfálticos*, antes de la prueba de película delgada.
- D.3.** Cuando un cemento asfáltico Grado PG se utilice para producir un material asfáltico modificado, además de satisfacer lo establecido en la Fracción D.1. de esta Norma, el material asfáltico modificado, según su tipo y el modificador utilizado, cumplirá con los requisitos de calidad indicados en la Norma N-CMT-4-05-002, *Calidad de Materiales Asfálticos Modificados*.

NORMAS

N-CMT-4-05-004/05

TABLA 2.- Requisitos de calidad para cementos asfálticos Grado PG

Grado de comportamiento	PG 64				PG 70				PG 76			PG 82			PG 88		
	-22	-28	-34	-40	-22	-28	-34	-40	-22	-28	-34	-22	-28	-34	-22	-28	-34
Temperatura máxima de diseño del pavimento (promedio de 7 días), °C	64				70				76			82			88		
Temperatura mínima de diseño del pavimento, °C	>-22	>-28	>-34	>-40	>-22	>-28	>-34	>-40	>-22	>-28	>-34	>-22	>-28	>-34	>-22	>-28	>-34
Asfalto original																	
Punto de inflamación Cleveland ^[1] ; °C, mín.	230																
Viscosidad dinámica a 135°C ^[1] ; Pa·s (P ^[2]), máximo	3																
Módulo reológico de corte dinámico (G'/sen δ) ^[1] ^[3] ; kPa, mínimo	1																
• Temperatura de prueba @ 10 rad/s; °C	64				70				76			82			88		
Después de prueba de película delgada y aire de horno ^[1]																	
Pérdida por calentamiento; %, máximo	1																
Módulo reológico de corte dinámico (G'/sen δ) ^[1] ; kPa, mínimo	2,2																
• Temperatura de prueba @ 10 rad/s; °C	64				70				76			82			88		
Después de envejecimiento en vasija de presión temperatura y aire																	
Temperatura de envejecimiento PAV; °C																	
• En climas normales	100				100				100			100			100		
• En climas desérticos	100				110				110			110			110		
Índice de endurecimiento físico ^[4] ; máximo	Reportar																
Módulo reológico de corte dinámico (G'/sen δ) ^[1] ; kPa, máximo	5 000																
• Temperatura de prueba @ 10 rad/s; °C	25	22	19	16	28	25	22	19	31	28	25	34	31	28	34	31	28
Rigidez de Flexión S _(T) ^[1] ^[5] ; MPa, máximo (m=0,3 min)	300																
• Temperatura de prueba @ 60 s; °C	-12	-18	-24	-30	-12	-18	-24	-30	-12	-18	-24	-12	-18	-24	-12	-18	-24

[1] Determinado mediante el procedimiento de prueba que corresponda, de los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma.

[2] Poises

[3] Para control de calidad de producción de asfaltos normales sin modificar, cuando sean líquido newtoniano, la viscosidad dinámica del cemento asfáltico original puede sustituir al módulo de corte dinámico G'/sen δ, a las temperaturas de prueba.

[4] El endurecimiento físico del asfalto es desarrollado de acuerdo con el número de muestras de viga, conforme a la determinación de la rigidez de flexión, mediante el Reómetro de flexión de viga BBR, excepto que las condiciones de tiempo se extiendan a 24 h y el valor m sea reportado únicamente para propósitos de información.

[5] Si la rigidez de flexión es menor de 300 MPa, no es necesario la prueba de tensión directa. Si la rigidez de flexión resulta entre 300 y 600 MPa, se requiere que la deformación a la ruptura en la prueba de tensión directa cumpla también con lo indicado en esta Tabla. El valor m requerido será satisfactorio en ambos casos.

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-05-004/05

E. TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE MATERIALES ASFÁLTICOS GRADO PG

Con el propósito de evitar la alteración de las propiedades de los materiales asfálticos Grado PG antes de su utilización en la obra, ha de tenerse cuidado en su transporte y almacenamiento, atendiendo lo señalado para ello en la Norma N-CMT-4-05-001, *Calidad de Materiales Asfálticos*.

F. CRITERIOS PARA ACEPTACIÓN O RECHAZO

Para que un material asfáltico Grado PG sea aceptado por la Secretaría, antes de su utilización, el Contratista de Obra, o el proveedor cuando se trate de emulsiones asfálticas o asfaltos modificados en obras por administración directa, entregará a la Secretaría un certificado de calidad por cada lote o suministro, que garantice el cumplimiento de todos los requisitos establecidos en esta Norma, según el tipo de material asfáltico establecido en el proyecto, expedido por su laboratorio o por un laboratorio externo, aprobados por la Secretaría.

En todo momento la Secretaría puede verificar que el material asfáltico suministrado cumpla con cualquiera de los requisitos de calidad establecidos en esta Norma, siendo motivo de rechazo el incumplimiento de cualquiera de ellos.

G. BIBLIOGRAFÍA

Asphalt Institute, *Background of SUPERPAVE Asphalt Mixture Design and Analysis*, Lexington, KY, EUA (Nov. 1994).

American Association of State Highway and Transportation Officials, Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing, *Norma AASHTO M 320-03, Performance Graded Asphalt Binder*, Washington, DC, EUA (2003).

American Association of State Highway and Transportation Officials, Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing, *AASHTO MP1, Performance Graded Asphalt Binders*, Washington, DC, EUA.

**LIBRO: CMT. CARACTERÍSTICAS DE
LOS MATERIALES**

PARTE: 4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS

TÍTULO: 05. Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas

CAPÍTULO: 003. Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras

A. CONTENIDO

Esta Norma contiene las características de calidad de las mezclas asfálticas que se utilicen en la construcción de pavimentos para carreteras.

B. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

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

Las mezclas asfálticas, según el procedimiento de mezclado, se clasifican como sigue:

B.1. MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

Son las elaboradas en caliente, utilizando cemento asfáltico y materiales pétreos, en una planta mezcladora estacionaria o móvil, provista del equipo necesario para calentar los componentes de la mezcla.

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

B.1.1. Mezcla asfáltica de granulometría densa

Es la mezcla en caliente, uniforme y homogénea, elaborada con cemento asfáltico y materiales pétreos bien graduados, con tamaño nominal entre treinta y siete coma cinco (37,5) milímetros (1 ½ in) y nueve coma cinco (9,5) milímetros

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-05-003/02

($\frac{3}{4}$ in), que satisfagan los requisitos de calidad establecidos en la Cláusula D. de la Norma N-CMT-4-04, *Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*. Normalmente se utiliza en la construcción de carpetas asfálticas de pavimentos nuevos en los que se requiere una alta resistencia estructural, o en renivelaciones y refuerzo de pavimentos existentes.

B.1.2. Mezcla asfáltica de granulometría abierta

Es la mezcla en caliente, uniforme, homogénea y con un alto porcentaje de vacíos, elaborada con cemento asfáltico y materiales pétreos de granulometría uniforme, con tamaño nominal entre doce coma cinco (12,5) milímetros ($\frac{1}{2}$ in) y seis coma tres (6,3) milímetros ($\frac{1}{4}$ in), que satisfagan los requisitos de calidad establecidos en la Cláusula E. de la Norma N-CMT-4-04, *Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*. Estas mezclas normalmente se utilizan para formar capas de rodadura, no tienen función estructural y generalmente se construyen sobre una carpeta de granulometría densa, con la finalidad principal de satisfacer los requerimientos de calidad de rodamiento del tránsito, al permitir que el agua de lluvia sea desplazada por las llantas de los vehículos, ocupando los vacíos de la carpeta, con lo que se incrementa la fricción de las llantas con la superficie de rodadura, se minimiza el acuaplaneo, se reduce la cantidad de agua que se impulsa sobre los vehículos adyacentes y se mejora la visibilidad del señalamiento horizontal. Las mezclas asfálticas de granulometría abierta no deben colocarse en zonas susceptibles al congelamiento ni donde la precipitación sea menor de seiscientos (600) milímetros por año.

B.2. MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

Son las elaboradas en frío, en una planta mezcladora móvil, utilizando emulsiones asfálticas o asfaltos rebajados y materiales pétreos.

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

B.2.1. Mezcla asfáltica de granulometría densa

Es la mezcla en frío, uniforme y homogénea, elaborada con emulsión asfáltica o asfalto rebajado y materiales pétreos, con

NORMAS

N-CMT-4-05-003/02

tamaño nominal entre treinta y siete coma cinco (37,5) milímetros (1 ½ in) y nueve coma cinco (9,5) milímetros (¾ in), que satisfagan los requisitos de calidad establecidos en la Cláusula D. de la Norma N-CMT-4-04, *Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*. Normalmente se utiliza en los casos en que la intensidad del tránsito (ΣL) es igual a un (1) millón de ejes equivalentes o menor, en donde no se requiera de una alta resistencia estructural, para la construcción de carpetas asfálticas de pavimentos nuevos y en carpetas para el refuerzo de pavimentos existentes, así como para la reparación de baches.

B.2.2. Mortero asfáltico

Es la mezcla en frío, uniforme y homogénea, elaborada con emulsión asfáltica o asfalto rebajado, agua y arena con tamaño máximo de dos coma treinta y seis (2,36) milímetros (N°8), que satisfaga los requisitos de calidad establecidos en la Cláusula F. de la Norma N-CMT-4-04, *Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*. Normalmente se coloca sobre una base impregnada o una carpeta asfáltica, como capa de rodadura.

B.3. MEZCLAS ASFÁLTICAS POR EL SISTEMA DE RIEGOS

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

C. REFERENCIAS

Esta Norma se complementa con las siguientes:

SCT

3 de 16
09/12/02

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-05-003/02

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Carpetas Asfálticas con Mezcla en Caliente	N-CTR-CAR-1-04-006
Carpetas Asfálticas con Mezcla en Frío	N-CTR-CAR-1-04-007
Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	N-CMT-4-04
Calidad de Materiales Asfálticos	N-CMT-4-05-001
Calidad de Materiales Asfálticos Modificados ...	N-CMT-4-05-002
Muestreo de Mezclas Asfálticas	M-MMP-4-05-029
Método Marshall para Mezclas Asfálticas de Granulometría Densa	M-MMP-4-05-031
Método Hveem para Mezclas Asfálticas de Granulometría Densa	M-MMP-4-05-032
Método Cántabro para Mezclas Asfálticas de Granulometría Abierta	M-MMP-4-05-033
Método Hubbard Field para Morteros Asfálticos	M-MMP-4-05-034
Contenido de Cemento Asfáltico en Mezclas	M-MMP-4-05-035
Contenido de Agua en Mezclas Asfálticas	M-MMP-4-05-036
Contenido de Disolventes en Mezclas Asfálticas	M-MMP-4-05-037

D. REQUISITOS DE CALIDAD

Los materiales pétreos y los materiales asfálticos que se utilicen en la elaboración de mezclas asfálticas, cumplirán con lo establecido en las Normas N-CMT-4-04, *Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*, N-CMT-4-05-001, *Calidad de Materiales Asfálticos* y N-CMT-4-05-002, *Calidad de Materiales Asfálticos Modificados*.

D.1. MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

Las mezclas asfálticas en caliente, diseñadas de acuerdo con los procedimientos descritos en los Manuales M-MMP-4-05-031, *Método Marshall para Mezclas Asfálticas de Granulometría Densa*, M-MMP-4-05-032, *Método Hveem para Mezclas Asfálticas de Granulometría Densa*, M-MMP-4-05-033, *Método Cántabro para Mezclas Asfálticas de Granulometría Abierta* y M-MMP-4-05-034, *Método Hubbard Field para Morteros Asfálticos*, según su tipo, cumplirán con los siguientes requisitos de calidad:

NORMAS

N-CMT-4-05-003/02

D.1.1. Mezcla asfáltica de granulometría densa

Según el método utilizado en el diseño, la mezcla asfáltica cumplirá con los requisitos de calidad señalados a continuación:

D.1.1.1. Mezcla asfáltica de granulometría densa diseñada por el método Marshall

Las mezclas asfálticas diseñadas mediante el procedimiento descrito en el Manual M·MMP·4-05-031, *Método Marshall para Mezclas Asfálticas de Granulometría Densa*, de acuerdo con el tránsito esperado en términos del número de ejes equivalentes de ocho coma dos (8,2) toneladas, acumulados durante la vida útil del pavimento (ΣL), cumplirán con los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 1 y con el porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM) indicado en la Tabla 2 de esta Norma, en función del tamaño nominal del material pétreo utilizado en la mezcla.

TABLA 1.- Requisitos de calidad para mezclas de granulometría densa, diseñadas mediante el método Marshall

Características	Número de ejes equivalentes de diseño ΣL [1]	
	$\Sigma L \leq 10^6$	$10^6 < \Sigma L \leq 10^7$ [2]
Compactación; número de golpes en cada cara de la probeta	50	75
Estabilidad; N (lb_f), mínimo	5 340 (1 200)	8 000 (1 800)
Flujo; mm (10^{-2} in)	2 - 4 (8 - 16)	2 - 3,5 (8 - 14)
Vacíos en la mezcla asfáltica (VMC); %	3 - 5	3 - 5
Vacíos ocupados por el asfalto (VFA); %	65 - 78	65 - 75

[1] ΣL = Número de ejes equivalentes de 8,2 t (ESAL), esperado durante la vida útil del pavimento.

[2] Para transitos mayores de 10^6 ejes equivalentes de 8,2 t, se requiere un diseño especial de la mezcla.

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-05-003/02

D.1.1.2. Mezcla asfáltica de granulometría densa diseñada por el método Hveem

Las mezclas asfálticas diseñadas mediante el procedimiento descrito en el Manual M·MMP·4·05·032, *Método Hveem para Mezclas Asfálticas de Granulometría Densa*, de acuerdo con la intensidad del tránsito esperada en términos del número de ejes equivalentes de ocho coma dos (8,2) toneladas, acumulados durante la vida útil del pavimento (ΣL), cumplirán con los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 3 de esta Norma. Además es conveniente que el porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica respecto al volumen del espécimen no sea menor de cuatro (4) por ciento.

TABLA 2.- Vacíos en el agregado mineral (VAM) para mezclas de granulometría densa, diseñadas mediante el método Marshall

Tamaño nominal del material pétreo utilizado en la mezcla ^[1]		Vacíos en la mezcla asfáltica (VMC) de diseño		
		%		
mm	Designación	3	4	5
		Vacíos en el agregado mineral (VAM)		
		%, mínimo		
9,5	$\frac{3}{8}$ "	14	15	16
12,5	$\frac{1}{2}$ "	13	14	15
19	$\frac{3}{4}$ "	12	13	14
25	1"	11	12	13
37,5	1½"	10	11	12

[1] El tamaño nominal corresponde al indicado en la Cláusula D. de la Norma N·CMT·4·04, *Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*, para el tipo y granulometría del material pétreo utilizado en la mezcla.

TABLA 3.- Requisitos de calidad para mezclas de granulometría densa, diseñados mediante el método Hveem

Características	Número de ejes equivalentes de diseño	
	ΣL ^[1]	
	$\Sigma L < 10^6$	$10^6 < \Sigma L < 10^7$ ^[2]
Valor de estabilidad (R), mínimo	35	37
Expansión; mm (in), máximo	0,762 (0,03)	

[1] ΣL = Número de ejes equivalentes de 8,2 t (ESAL), esperado durante la vida útil del pavimento.

[2] Para tránsitos mayores de 10^7 ejes equivalentes de 8,2 t, se requiere un diseño especial de la mezcla.

D.1.1.3. Material fino (filler)

Cuando se requiera un material fino (*filler*) para lograr la granulometría del material pétreo establecida en la Cláusula D. de la Norma N-CMT-4-04, *Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*, se puede utilizar cemento Portland o cal, lo que también acelerará la estabilidad de la mezcla y mejorará la afinidad entre el material asfáltico y los materiales pétreos; el contenido de filler no será mayor que el porcentaje máximo de material que pasa la malla N°200, indicado en la Cláusula mencionada.

D.1.2. Mezcla asfáltica de granulometría abierta

D.1.2.1. La mezcla asfáltica de granulometría abierta diseñada mediante el procedimiento descrito en el Manual M-MMP-4-05-033, *Método Cántabro para Mezclas Asfálticas de Granulometría Abierta*, tendrá como mínimo el contenido de asfalto que corresponda a un desgaste en las probetas igual a treinta (30) por ciento o menor y como máximo el contenido de asfalto que corresponda a un porcentaje de vacíos en dichas probetas igual a veinte (20) por ciento o mayor.

D.1.2.2. Cuando se requiera un material fino (*filler*) para lograr la granulometría del material pétreo establecida en la Cláusula E. de la Norma N-CMT-4-04, *Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*, se puede utilizar cemento Portland o cal, lo que también acelerará la estabilidad de la mezcla y mejorará la afinidad entre el material asfáltico y los materiales pétreos; el contenido de filler no será mayor que el porcentaje máximo de material que pasa la malla N°200, indicado en la Cláusula mencionada.

D.2. MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

Las mezclas asfálticas en frío, diseñadas de acuerdo con los procedimientos descritos en los Manuales M-MMP-4-05-031, *Método Marshall para Mezclas Asfálticas de Granulometría Densa*, M-MMP-4-05-032, *Método Hveem para Mezclas Asfálticas de Granulometría Densa* o M-MMP-4-05-034, *Método Hubbard Field*

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-05-003/02

para *Morteros Asfálticos*, según su tipo, cumplirán con los siguientes requisitos de calidad:

D.2.1. Mezcla asfáltica de granulometría densa

En la fabricación de las mezclas asfálticas de granulometría densa en frío, que se empleen en carpetas o reparación de baches se tomará en cuenta lo siguiente:

- D.2.1.1.** La emulsión asfáltica que se utilice en las mezclas para carpetas asfálticas de granulometría densa en frío será de rompimiento medio o lento.
- D.2.1.2.** El asfalto rebajado que se utilice en las mezclas para carpetas asfálticas de granulometría densa en frío será de fraguado rápido.
- D.2.1.3.** Las mezclas para carpetas asfálticas de granulometría densa en frío, cumplirán con los requisitos de calidad señalados en las Tablas 1 y 2, ó 3 de esta Norma, según el método utilizado en su diseño, para una intensidad del tránsito ($\geq L$) igual a un (1) millón de ejes equivalentes.
- D.2.1.4.** En caso que así lo indique el proyecto o previa aprobación de la Secretaría, cuando se requiera un material fino (*filler*) para lograr la granulometría del material pétreo establecida en la Cláusula D. de la Norma N-CMT-4-04, *Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*, se puede utilizar cemento Pórtland o cal, lo que también acelerará la estabilidad de la mezcla y mejorará la afinidad entre el material asfáltico y los materiales pétreos; el contenido de filler no será mayor que el porcentaje máximo de material que pasa la malla N°200, indicado en la Cláusula mencionada.

D.2.2. Mortero asfáltico

En la fabricación del mortero asfáltico se tomará en cuenta lo siguiente:

NORMAS

N-CMT-4-05-003/02

- D.2.2.1.** La emulsión asfáltica que se utilice en la fabricación del mortero será de rompimiento lento.
- D.2.2.2.** El asfalto rebajado que se utilice en la fabricación del mortero será de fraguado rápido.
- D.2.2.3.** El agua que se utilice para dar la consistencia necesaria al mortero, estará libre de materias extrañas y de sales solubles en cantidades que, a juicio de la Secretaría, resulten perjudiciales.
- D.2.2.4.** El proporcionamiento del mortero asfáltico cumplirá con lo establecido en la Tabla 4 de esta Norma.

TABLA 4.- Requisitos de proporcionamiento de morteros asfálticos

Componentes	Contenido en la mezcla % [1]
Emulsión asfáltica de rompimiento lento	18 - 25
Agua para dar la consistencia necesaria a la mezcla con emulsión asfáltica	10 - 15
Asfalto rebajado de fraguado rápido	14 - 22

[1] Por ciento respecto a la masa seca del material pétreo

- D.2.2.5.** Las características del mortero asfáltico serán tales que, una vez tendido, se establezca en un periodo comprendido entre una (1) y cinco (5) horas.
- D.2.2.6.** En caso que así lo indique el proyecto o previa aprobación de la Secretaría, cuando se requiera un material fino (*filler*) para lograr la granulometría del material pétreo establecida en la Cláusula F. de la Norma N-CMT-4-04, *Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*, se puede utilizar cemento Pórtland o cal, lo que también acelerará la estabilidad de la mezcla y mejorará la afinidad entre el material asfáltico y los materiales pétreos; el contenido de filler no será mayor que el porcentaje máximo de material que pasa la malla N°200, indicado en la Cláusula mencionada. En el caso que se utilicen emulsiones, sólo se podrá añadir filler si así lo indica el proyecto o previa aprobación de la Secretaría.

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-05-003/02

D.3. MEZCLAS ASFÁLTICAS POR EL SISTEMA DE RIEGOS

En la construcción de carpetas asfálticas por el sistema de riegos se tomará en cuenta lo siguiente:

- D.3.1.** La emulsión asfáltica que se utilice en la construcción de carpetas asfálticas por el sistema de riegos será de rompimiento rápido; sin embargo, nunca se utilizará la emulsión ECR-60.
- D.3.2.** En cada caso, las cantidades de los distintos tipos de materiales pétreos que se empleen, así como las del material asfáltico, serán las establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría. En términos generales las cantidades de materiales que se utilicen estarán comprendidas dentro de los límites indicados en la Tabla 5 de esta Norma.

TABLA 5.- Cantidades de materiales pétreos y asfálticos en mezclas asfálticas por el sistema de riegos

Materiales ^[1] L/m ²	Tipo de carpeta							
	Tres riegos			Dos riegos			Un riego	
Cemento asfáltico	0							
Material pétreo tipo 1	20 - 25							
Cemento asfáltico	0,7 - 0,8			0,7 - 0,8			---	
Material pétreo tipo 2	8 - 12			8 - 12			---	
Cemento asfáltico	0,7 - 0,8	---	---	0,7 - 0,8	---	---	0,7 - 0,8	---
Material pétreo tipo 3-A	8 - 10	---	---	8 - 10	---	---	8 - 10	---
Cemento asfáltico	---	0,7 - 0,8	---	---	0,7 - 0,8	---	---	---
Material pétreo tipo 3-B	---	6 - 8	---	---	6 - 8	---	---	---
Cemento asfáltico	---	---	0,7 - 0,8	---	---	0,7 - 0,8	---	0,7 - 0,8
Material pétreo tipo 3-E	---	---	9 - 11	---	---	9 - 11	---	9 - 11

[1] El cemento asfáltico considerado en esta Tabla se refiere al que contiene la emulsión o el asfalto rebajado que se utilice. Para calcular la cantidad de emulsión o de asfalto rebajado por aplicar, debe dividirse el valor anotado entre el contenido de cemento que tenga la emulsión o el asfalto rebajado, ambos expresados en litros.

E. CONDICIONES PARA LA ELABORACIÓN Y USO ADECUADO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

- E.1.** Las mezclas asfálticas en caliente se elaborarán a las temperaturas más bajas posibles que permitan obtener una mezcla y cubrimiento del material pétreo uniformes, pero lo suficientemente altas para disponer del tiempo requerido para su transporte, tendido y compactación. En general, las temperaturas de mezclado, dependiendo del tipo de cemento asfáltico utilizado, pueden ser las indicadas en la Tabla 6 de esta Norma. Cuando se trate de cementos asfálticos modificados, las temperaturas de

NORMAS

N-CMT-4-05-003/02

mezclado deben consultarse con el fabricante del modificador que se utilice.

TABLA 6.- Temperaturas de mezclado para mezclas en caliente

Clasificación del cemento asfáltico	Temperatura de mezclado °C
AC- 5	120 - 145
AC-10	120 - 155
AC-20	130 - 160
AC-30	130 - 165

- E.2.** La temperatura de las emulsiones asfálticas al momento de su empleo en las mezclas asfálticas en frío o de su aplicación para las carpetas asfálticas por el sistema de riegos, será de cinco (5) a cuarenta (40) grados Celsius; en el caso de asfaltos rebajados, será de sesenta (60) a ochenta (80) grados Celsius.
- E.3.** No se aplicarán los materiales asfálticos cuando la temperatura ambiente sea menor de cinco (5) grados Celsius, cuando haya amenaza de lluvia o cuando la velocidad del viento impida que la aplicación con petrolizadora sea uniforme.
- E.4.** Los contenidos de cemento asfáltico, de agua y de disolventes en las mezclas asfálticas, determinados de acuerdo con los procedimientos descritos en los Manuales M-MMP-4-05-035, *Contenido de Cemento Asfáltico en Mezclas*, M-MMP-4-05-036, *Contenido de Agua en Mezclas Asfálticas* y M-MMP-4-05-037, *Contenido de Disolventes en Mezclas Asfálticas*, respectivamente, quedarán dentro de los límites fijados en la Tabla 7 de esta Norma.
- E.5.** Las temperaturas mínimas convenientes para el tendido y compactación de la mezcla asfáltica, serán determinadas por el responsable de esas actividades, mediante la curva *Viscosidad-Temperatura* del material asfáltico que se utilice.
- E.6.** Los espesores compactos de las capas que se construyan con mezclas asfálticas en caliente, no serán menores que uno coma cinco (1,5) veces el tamaño nominal del material pétreo utilizado. El espesor máximo de la capa será aquel que el equipo sea capaz compactar, de tal forma que la diferencia entre el grado de compactación en los tres (3) centímetros superiores y los tres (3)

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-05-003/02

centímetros inferiores, no difiera en más del uno (1) por ciento; si esto sucede, la carpeta se construirá en dos o más capas.

TABLA 7.- Contenidos de cemento asfáltico, agua y disolventes en mezclas asfálticas

Material asfáltico empleado en la elaboración de la mezcla	Tolerancia en el contenido de cemento asfáltico (CA) ^[1] %	Contenido de agua libre permitido ^[2] %	Relación de disolventes a cemento asfáltico en masa (valor K)
Cemento asfáltico	CA ± 0,05	1	0
Emulsión asfáltica sin disolventes	CA + 0,1	----	0
Emulsión asfáltica con disolventes	CA ± 0,1	----	0,05 a 0,08
Asfaltos rebajados	CA ± 0,1	1	0,05 a 0,08

[1] CA corresponde al contenido de cemento asfáltico determinado en el diseño de la mezcla, en por ciento respecto a la masa del material pétreo.

[2] Respecto a la masa de la mezcla asfáltica.

E.7. Las capas construidas con mezcla asfáltica, serán compactadas como mínimo al noventa y cinco (95) por ciento de su masa volumétrica máxima, determinada en cada caso de acuerdo con los métodos de prueba que fije la Secretaría.

F. TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

Con el propósito de evitar la alteración de las características de las mezclas asfálticas en caliente antes de su utilización en la obra, se tendrá cuidado en su transporte y almacenamiento, atendiendo los siguientes aspectos:

F.1. La mezcla asfáltica en caliente puede ser almacenada por corto tiempo en tolvas metálicas sin orificios, con superficie interior lisa y limpia, pero teniendo en cuenta que la temperatura de la mezcla se reducirá rápidamente. No se permitirá el almacenamiento en pilas o montones, aun cuando estos se cubran con lonas.

F.1.1. Si se utilizan silos térmicamente aislados, la mezcla puede ser almacenada hasta por veinticuatro (24) horas sin pérdidas de temperatura y calidad considerables.

NORMAS

N-CMT-4-05-003/02

- F.1.2.** De requerirse largos periodos de almacenamiento, se utilizarán silos que incluyan sistemas de calentamiento que permitan mantener la temperatura de la mezcla, pero cuidando que no se presente sangrado u oxidación de la mezcla.
- F.2.** La mezcla asfáltica en caliente se transportará en vehículos con caja metálica con superficie interior lisa, sin orificios y que esté siempre limpia y libre de residuos de mezcla asfáltica, para evitar que ésta se adhiera a la caja.
- F.3.** Antes de cargar el vehículo de transporte, se limpiará su caja y se cubrirá la superficie interior de la misma con un lubricante para evitar que se le adhiera la mezcla, utilizando para ello una solución de agua y cal, agua jabonosa o algún producto comercial apropiado. En ningún caso se deben usar productos derivados del petróleo como el diesel, debido a problemas ambientales y posibles daños a la mezcla. Una vez hecho lo anterior, se levantará la caja para drenar el exceso de lubricante.
- F.4.** El vehículo de transporte se llenará con varias descargas sucesivas de la mezcla para minimizar la segregación de los materiales pétreos, acomodándolas desde los extremos de la caja hacia su centro.
- F.5.** Una vez cargado el vehículo de transporte, se cubrirá la mezcla asfáltica con una lona que la preserve del polvo, materias extrañas y de la pérdida de calor durante el trayecto.
- F.6.** El tiempo de transporte está en función de la pérdida de temperatura de la mezcla, la que será tendida y compactada a las temperaturas mínimas determinadas como se indica en la Fracción E.5. de esta Norma; sin embargo, en el caso de mezclas asfálticas de granulometría abierta, el tiempo de transporte será menor de uno coma cinco (1,5) horas, para evitar el sangrado del cemento asfáltico.
- F.7.** La temperatura de fabricación de la mezcla no deberá incrementarse para que al final de su transporte tenga la temperatura adecuada para el tendido y compactación.

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-05-003/02

F.8. En el caso de mezclas asfálticas de granulometría abierta, se considerará además lo siguiente:

F.8.1. No serán transportadas por caminos sin pavimentar.

F.8.2. Se manejarán de tal forma que el contenido de cemento asfáltico en la parte superior e inferior de la mezcla en el camión o almacenamiento, esté dentro de las tolerancias establecidas.

G. CRITERIOS PARA ACEPTACIÓN O RECHAZO

La aceptación de mezclas asfálticas por parte de la Secretaría, se hará considerando lo siguiente:

G.1. El Contratista de Obra será el responsable de demostrar que la mezcla asfáltica cumple con las características y los requisitos de calidad señalados en esta Norma para su aprobación por parte del Residente, según el tipo de mezcla establecida en el proyecto, en muestras obtenidas y preparadas como se establece en el Manual M-MMP-4-05-029, *Muestreo de Mezclas Asfálticas*, mediante los procedimientos de prueba contenidos en los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma. El Contratista de Obra entregará a la Secretaría un certificado de calidad que garantice el cumplimiento de todos los requisitos establecidos en esta Norma, expedido por su propio laboratorio o por un laboratorio externo aprobado por la Secretaría.

G.2. Durante el proceso de producción, con objeto de controlar la calidad de la mezcla en la ejecución de la obra, el Contratista de Obra, por cada doscientos (200) metros cúbicos o fracción de la mezcla de un mismo tipo, producido en la planta, realizará las pruebas necesarias que aseguren que cumple con el contenido de asfalto establecido en esta Norma y entregará a la Secretaría los resultados de dichas pruebas. Las pruebas se realizarán en muestras obtenidas y preparadas como se establece en el Manual M-MMP-4-05-029, *Muestreo de Mezclas Asfálticas* y mediante los procedimientos de prueba contenidos en los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma. Será motivo de rechazo por parte de la Secretaría, el incumplimiento de lo mencionado en esta Fracción.

NORMAS

N-CMT-4-05-003/02

- G.3.** Además de lo señalado en la Fracción anterior, el Contratista de Obra, por cada dos mil (2 500) metros cúbicos de producción de la planta, realizará las pruebas necesarias que aseguren que la mezcla asfáltica cumple con todos los requisitos establecidos en esta Norma, según el tipo de mezcla de que se trate y entregará a la Secretaría los resultados de dichas pruebas. Las pruebas se realizarán en muestras obtenidas y preparadas como se establece en el Manual M-MMP-4-05-029, *Muestreo de Mezclas Asfálticas* y mediante los procedimientos de prueba contenidos en los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma. Será motivo de rechazo por parte de la Secretaría, el incumplimiento de cualquiera de los requisitos establecidos.
- G.4.** En el caso de mezcla de granulometría densa, una vez tendida y compactada, el Contratista de Obra realizará las pruebas necesarias que aseguren la estabilidad establecida en esta Norma, en el proyecto o lo señalado por la Secretaría, de acuerdo con lo indicado en el Inciso H.1.3. de las Normas N-CTR-CAR-1-04-006, *Carpetas Asfálticas con Mezcla en Caliente* o N-CTR-CAR-1-04-007, *Carpetas Asfálticas con Mezcla en Frío*, según corresponda, mediante el procedimiento contenido en los Manuales M-MMP-4-05-031, *Método Marshall para Mezclas Asfálticas de Granulometría Densa* o M-MMP-4-05-032, *Método Hveem para Mezclas Asfálticas de Granulometría Densa*, según su caso. El Contratista de Obra entregará a la Secretaría los resultados de dichas pruebas.
- G.5.** En cualquier momento, la Secretaría puede verificar que la mezcla asfáltica suministrada cumpla con cualquiera de los requisitos de calidad establecidos en esta Norma, según el tipo de mezcla de que se trate, siendo motivo de rechazo el incumplimiento de cualquiera de ellos.

H. BIBLIOGRAFÍA

Asphalt Institute, *Manual MS-1 Thickness Design – Full Depth Pavement Structures for Highways and Streets*, Lexington, KY, EUA (ago 1993).

Asphalt Institute, *Manual MS-22 Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente*, Lexington, KY, EUA.

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-05-003/02

Asphalt Institute, *Manual 22 Construction of Hot-Mix Asphalt Pavements*, 2ª ed, Lexington, KY, EUA.

AASHTO, *Guide for Design of Pavement Structures*, Washington, DC, EUA (1993).

Instituto del Asfalto; Departamento del Transporte de los Estados Unidos, Administración Federal de Carreteras; e IPC, *Antecedentes del Diseño y Análisis de Mezclas Asfálticas, Aplicaciones Tecnológicas, Innovaciones a través de Asociaciones*, Asphalt Institute, Lexington, KY, EUA (nov 1994).

Roberts, F et al, *Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction*, NAPA Education Foundation, Lanham, ML, EUA, (may 1991).



LIBRO: CTR. CONSTRUCCIÓN

TEMA: CAR. Carreteras

PARTE: 1. CONCEPTOS DE OBRA

TÍTULO: 04. Pavimentos

CAPÍTULO: 004. Riegos de Impregnación

A. CONTENIDO

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

B. DEFINICIÓN

Consiste en la aplicación de un material asfáltico, sobre una capa de material pétreo como la base del pavimento, con objeto de impermeabilizarla y favorecer la adherencia entre ella y la carpeta asfáltica. El material asfáltico que se utiliza normalmente es una emulsión, ya sea de rompimiento lento o especial para impregnación, o bien un asfalto rebajado. La aplicación del riego de impregnación puede omitirse si la capa por construir encima es una carpeta asfáltica con espesor mayor o igual que diez (10) centímetros.

C. REFERENCIAS

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

NORMAS	DESIGNACIÓN
Ejecución de Obras	N·LEG·3
Calidad de Materiales Asfálticos	N·CMT·4·05·001

D. MATERIALES

- D.1.** Los materiales que se utilicen en la aplicación de riegos de impregnación, serán del tipo y con las características establecidas en el proyecto.
- D.2.** No se aceptará el suministro y aplicación de materiales que no cumplan con las características establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría, ni aún en el supuesto de que serán mejorados posteriormente en el lugar de trabajo por el Contratista de Obra.
- D.3.** Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la Secretaría, los materiales presentan deficiencias respecto a las características establecidas en el proyecto o aprobadas por la misma, se suspenderá inmediatamente el trabajo hasta que el Contratista de Obra las corrija por su cuenta y costo. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

E. EQUIPO

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

En la selección del equipo el Contratista de Obra considerará lo siguiente:

E.1. PETROLIZADORAS

Las petrolizadoras serán capaces de establecer a temperatura constante, un flujo uniforme del material asfáltico sobre la superficie por cubrir, en anchos variables y en dosificaciones

NORMAS

N·CTR·CAR·1·04·004/00

controladas; estar equipadas con odómetro, medidores de presión, dispositivos adecuados para la medición del volumen aplicado y termómetro para medir la temperatura del material asfáltico dentro del tanque; y contar con una bomba y barras de circulación completas, que puedan ajustarse vertical y lateralmente.

E.2. BARREDORAS MECÁNICAS

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

F. TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO

El transporte y el almacenamiento de todos los materiales son responsabilidad exclusiva del Contratista de Obra y los realizará de tal forma que no sufran alteraciones que pudieran ocasionar deficiencias en la calidad de la obra, tomando en cuenta lo establecido en la Norma N·CMT·4·05·001, *Calidad de Materiales Asfálticos*, y sujetándose, en lo que corresponda, a las leyes y reglamentos de protección ecológica vigentes.

G. EJECUCIÓN

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

G.1. DOSIFICACIÓN DE MATERIALES

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

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

G.2. CONDICIONES CLIMÁTICAS

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

- G.2.1.** Sobre superficies con agua libre o encharcadas.
- G.2.2.** Cuando exista amenaza de lluvia o esté lloviendo.
- G.2.3.** Cuando la velocidad del viento impida que la aplicación del material asfáltico sea uniforme.
- G.2.4.** Cuando la temperatura de la superficie sobre la cual serán aplicados esté por debajo de los quince (15) grados Celsius.
- G.2.5.** Cuando la temperatura ambiente esté por debajo de los quince (15) grados Celsius y su tendencia sea a la baja. Sin embargo, pueden ser aplicados cuando la temperatura ambiente esté por arriba de los diez (10) grados Celsius y su tendencia sea al alza. La temperatura ambiente será tomada a la sombra lejos de cualquier fuente de calor artificial.
- G.2.6.** Cuando se utilicen asfaltos rebajados, éstos no podrán aplicarse cuando la capa por cubrir esté húmeda.

G.3. TRABAJOS PREVIOS

- G.3.1.** Inmediatamente antes de la aplicación del riego de impregnación, toda la superficie por cubrir deberá estar debidamente preparada, exenta de materias extrañas, polvo, grasa o encharcamientos, sin irregularidades y reparados los baches que hubieran existido. No se permitirá el riego sobre tramos que no hayan sido previamente aceptados por la Secretaría.
- G.3.2.** Previamente al riego de impregnación, las estructuras de la carretera o contiguas, que pudieran mancharse directa o indirectamente durante la aplicación del material asfáltico, tales como banquetas, guarniciones, camellones, parapetos, postes, pilas, estribos, caballetes y barreras separadoras,

NORMAS

N-CTR-CAR-1-04-004/00

entre otras, se protegerán con papel u otro material similar, de manera que concluido el trabajo y una vez retirada la protección, se encuentren en las mismas condiciones de limpieza en que se hallaban.

- G.3.3.** Cuando se utilicen emulsiones asfálticas, para retrasar su rompimiento y mejorar la absorción de la superficie, ocasionalmente es necesario un riego de agua previo, sin embargo, el material asfáltico no se aplicará sino hasta que el agua superficial se haya evaporado lo suficiente para que no exista agua libre o encharcamientos.

G.4. APLICACIÓN DEL MATERIAL ASFÁLTICO

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

- G.4.1.** En las juntas transversales, antes de iniciar un nuevo riego, se colocarán tiras de papel u otro material similar para proteger el riego existente, de tal manera que el nuevo riego se inicie desde dicha tira y al retirarse ésta, no quede un traslape de material asfáltico.
- G.4.2.** Se ajustará la altura de la barra de la petrolizadora para aplicar el material asfáltico uniformemente, con la dosificación establecida en el proyecto, de manera que la base del abanico que se forma al salir el material por una boquilla, cubra hasta la mitad de la base del abanico de la boquilla contigua (*cubrimiento doble*), o que la base del abanico de una boquilla cubra las dos terceras ($2/3$) partes de la base del abanico de la boquilla contigua (*cubrimiento triple*), como se muestra en la Figura 1 de esta Norma.
- G.4.3.** La aplicación del material asfáltico en una franja contigua a otra previamente regada, se hará de tal manera que el nuevo riego se traslape con el anterior en un medio ($1/2$) o dos tercios ($2/3$) del ancho de la base del abanico de la boquilla extrema de la petrolizadora, según se trate de cubrimiento doble o triple, como se muestra en la Figura 1 de esta Norma, con el propósito de que la dosificación del producto asfáltico en la orilla de la franja precedente sea la indicada en el proyecto.

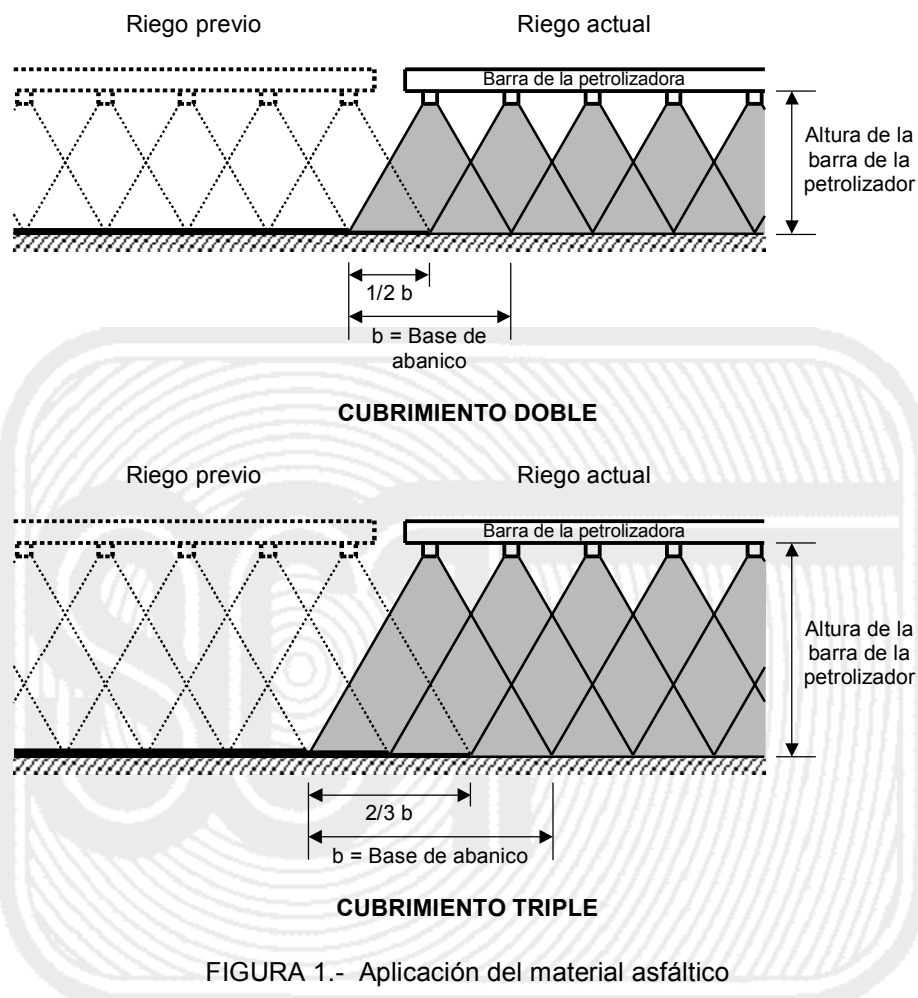


FIGURA 1.- Aplicación del material asfáltico

- G.4.4.** En su caso, el exceso del material asfáltico que se hubiera aplicado debe ser removido. Las deficiencias que por esta causa se presenten, deben ser corregidas por cuenta y costo del Contratista de Obra.
- G.4.5.** La cantidad, temperatura, ancho y longitud de aplicación del material asfáltico son responsabilidad del Contratista de Obra; sin embargo, la Secretaría se reserva el derecho de no recibir el trabajo si, a su juicio, el riego tiene alguna deficiencia.

NORMAS

N·CTR·CAR·1·04·004/00

G.4.6. A menos que el proyecto indique otra cosa o así lo ordene la Secretaría, la penetración del riego de impregnación debe ser mayor o igual a cuatro (4) milímetros.

G.4.7. No se iniciará la construcción de la siguiente capa sino hasta que haya pasado el tiempo suficiente para que el material aplicado en el riego de impregnación penetre y el agua o solvente, según sea el caso, se haya eliminado.

G.4.8. La superficie impregnada permanecerá cerrada a cualquier tipo de tránsito hasta que la penetración establecida en el proyecto u ordenada por la Secretaría se haya producido. Cualquier deterioro que se origine en la capa impregnada por la apertura anticipada al tránsito u otras causas imputables al Contratista de Obra, tendrá que ser reparado por su cuenta y costo.

G.4.9. Cuando por causas de fuerza mayor y previa autorización de la Secretaría, sea necesario abrir al tránsito una superficie impregnada antes de que ocurra la penetración requerida o si a juicio de la Secretaría existe exceso de material asfáltico en la superficie y éste no amerita ser removido, el riego de impregnación se cubrirá con arena u otro material de esas características, en la cantidad y con el procedimiento que apruebe la Secretaría.

G.5. CONSERVACIÓN DE LOS TRABAJOS

Es responsabilidad del Contratista de Obra la conservación del riego de impregnación hasta que haya sido recibido por la Secretaría.

H. CRITERIOS PARA ACEPTACIÓN O RECHAZO

Para que un riego de impregnación sea aceptado por la Secretaría, éste deberá cumplir con todo lo establecido en esta Norma.

I. MEDICIÓN

Cuando la aplicación de los riegos de impregnación se contrate a precios unitarios por unidad de obra terminada y sean ejecutados conforme a lo indicado en esta Norma, a satisfacción de la Secretaría,

CTR. CONSTRUCCIÓN

CAR. CARRETERAS

N-CTR-CAR-1-04-004/00

se medirán según lo señalado en la Cláusula E. de la Norma N-LEG-3, *Ejecución de Obras*, para determinar el avance o la cantidad de trabajo realizado para efecto de pago, tomando en cuenta lo siguiente:

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

J. BASE DE PAGO

Cuando la aplicación de los riegos de impregnación se contrate a precios unitarios por unidad de obra terminada y sean medidos de acuerdo con lo indicado en la Cláusula I. de esta Norma, se pagarán de la siguiente manera:

- J.1. El material asfáltico se pagará al precio fijado en el contrato para el metro cuadrado de riego de impregnación aplicado, según el tipo y dosificación del material asfáltico establecidos en el proyecto. Estos precios unitarios, conforme con lo indicado en la Cláusula F. de la Norma N-LEG-3, *Ejecución de Obras*, incluyen lo que corresponda por: valor de adquisición o producción del material asfáltico, limpieza del tanque en que se transporte, movimientos en la planta de producción y en el lugar de destino, carga al equipo de transporte, transporte al lugar de almacenamiento, descarga en el depósito, cargo por almacenamiento y todas las operaciones de calentamiento y bombeo requeridas; barrido y limpieza de la superficie sobre la que se aplicará el riego; protección de las estructuras o parte de ellas, precauciones para no mancharlas con el material asfáltico y para evitar traslapes excesivos; cargas en el depósito del material asfáltico al equipo de transporte y acarreo al lugar de utilización; aplicaciones del material asfáltico en la forma que fije el proyecto;

NORMAS

N-CTR-CAR-1-04-004/00

los tiempos de los vehículos empleados en los transportes y riego de los materiales durante las cargas y las descargas; y todo lo necesario para la correcta ejecución del concepto.

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

K. ESTIMACIÓN Y PAGO

La estimación y pago de los riegos de impregnación aplicados, se efectuará de acuerdo con lo señalado en la Cláusula G. de la Norma N-LEG-3, *Ejecución de Obras*.

L. RECEPCIÓN DE LA OBRA

Una vez concluida la aplicación del riego de impregnación, la Secretaría lo recibirá conforme con lo señalado en la Cláusula H. de la Norma N-LEG-3, *Ejecución de Obras*, aplicando en su caso, las sanciones a que se refiere la Cláusula I. de la misma Norma.

LIBRO: CTR. CONSTRUCCIÓN

TEMA: CAR. Carreteras

PARTE: 1. CONCEPTOS DE OBRA

TÍTULO: 04. Pavimentos

CAPÍTULO: 005. Riegos de Liga

A. CONTENIDO

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

B. DEFINICIÓN

Consiste en la aplicación de un material asfáltico sobre una capa de pavimento, con objeto de lograr una buena adherencia con otra capa de mezcla asfáltica que se construya encima. Normalmente se utiliza una emulsión asfáltica de rompimiento rápido. La aplicación del riego de liga puede omitirse si la carpeta asfáltica que se construirá encima tiene un espesor mayor o igual que diez (10) centímetros.

C. REFERENCIAS

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

NORMAS	DESIGNACIÓN
Ejecución de Obras	N-LEG-3
Calidad de Materiales Asfálticos	N-CMT-4-05-001
Carpetas Asfálticas en Caliente	N-CTR-CAR-1-04-006
Carpetas Asfálticas en Frío	N-CTR-CAR-1-04-007

D. MATERIALES

- D.1.** Los materiales que se utilicen en la aplicación de riegos de liga, serán del tipo y con las características establecidas en el proyecto.
- D.2.** No se aceptará el suministro y aplicación de materiales que no cumplan con las características establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría, ni aún en el supuesto de que serán mejorados posteriormente en el lugar de trabajo por el Contratista de Obra.
- D.3.** Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la Secretaría, los materiales presentan deficiencias respecto a las características establecidas en el proyecto o aprobadas por la misma, se suspenderá inmediatamente el trabajo hasta que el Contratista de Obra las corrija por su cuenta y costo. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

E. EQUIPO

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

En la selección del equipo el Contratista de Obra considerará lo siguiente:

E.1. PETROLIZADORAS

Las petrolizadoras serán capaces de establecer a temperatura constante, un flujo uniforme del material asfáltico sobre la superficie por cubrir, en anchos variables y en dosificaciones controladas; estar equipadas con odómetro, medidores de presión,

NORMAS

N·CTR·CAR·1·04·005/00

dispositivos adecuados para la medición del volumen aplicado y termómetro para medir la temperatura del material asfáltico dentro del tanque; y contar con una bomba y barras de circulación completas, que puedan ajustarse vertical y lateralmente.

E.2. BARREDORAS MECÁNICAS

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

F. TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO

El transporte y el almacenamiento de todos los materiales son responsabilidad exclusiva del Contratista de Obra y los realizará de tal forma que no sufran alteraciones que pudieran ocasionar deficiencias en la calidad de la obra, tomando en cuenta lo establecido en la Norma N·CMT·4·05·001, *Calidad de Materiales Asfálticos*, y sujetándose, en lo que corresponda, a las leyes y reglamentos de protección ecológica vigentes.

G. EJECUCIÓN

Además de lo señalado en la Cláusula D. de la Norma N·LEG·3, *Ejecución de Obras*, para la aplicación de riegos de liga se tiene que considerar lo siguiente:

G.1. DOSIFICACIÓN DE MATERIALES

G.1.1. La dosificación de los materiales asfálticos que se empleen en la aplicación de riegos de liga, se realizará según lo establecido en el proyecto o lo indicado por la Secretaría.

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

G.2. CONDICIONES CLIMÁTICAS

Los trabajos serán suspendidos en el momento en que se presenten situaciones climáticas adversas y no se reanudarán mientras éstas no sean las adecuadas, considerando que no se aplicarán riegos de liga en las siguientes condiciones:

CTR. CONSTRUCCIÓN

CAR. CARRETERAS

N-CTR-CAR-1-04-005/00

- G.2.1.** Sobre superficies con agua libre o encharcadas.
- G.2.2.** Cuando exista amenaza de lluvia o esté lloviendo.
- G.2.3.** Cuando la velocidad del viento impida que la aplicación del material asfáltico sea uniforme.
- G.2.4.** Cuando la temperatura de la superficie sobre la cual serán aplicados esté por debajo de los quince (15) grados Celsius.
- G.2.5.** Cuando la temperatura ambiente esté por debajo de los quince (15) grados Celsius y su tendencia sea a la baja; sin embargo, pueden ser aplicados cuando la temperatura ambiente esté por arriba de los diez (10) grados Celsius y su tendencia sea al alza. La temperatura ambiente será tomada a la sombra lejos de cualquier fuente de calor artificial.

G.3. TRABAJOS PREVIOS

- G.3.1.** Inmediatamente antes de la aplicación del riego de liga, toda la superficie por cubrir deberá estar debidamente preparada, exenta de materias extrañas, polvo, grasa o encharcamientos, sin irregularidades y reparados los baches que hubieran existido. No se permitirá el riego sobre tramos que no hayan sido previamente aceptados por la Secretaría.
- G.3.2.** Previamente al riego de liga, las estructuras de la carretera o contiguas, que pudieran mancharse directa o indirectamente durante la aplicación del material asfáltico, tales como banquetas, guarniciones, camellones, parapetos, postes, pilas, estribos, caballetes y barreras separadoras, entre otras, se protegerán con papel u otro material similar, de manera que concluido el trabajo y una vez retirada la protección, se encuentren en las mismas condiciones de limpieza en que se hallaban.
- G.3.3.** Cuando se utilicen emulsiones asfálticas, para retrasar su rompimiento y mejorar la absorción de la superficie, ocasionalmente es necesario un riego de agua previo, sin embargo, el material asfáltico no se aplicará sino hasta que el agua superficial se haya evaporado lo suficiente para que no exista agua libre o encharcamientos.

G.4. APLICACIÓN DEL MATERIAL ASFÁLTICO

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

- G.4.1.** En las juntas transversales, antes de iniciar un nuevo riego, se colocarán tiras de papel u otro material similar para proteger el riego existente, de tal manera que el nuevo riego se inicie desde dicha tira y al retirarse ésta, no quede un traslape de material asfáltico.
- G.4.2.** Se ajustará la altura de la barra de la petrolizadora para aplicar el material asfáltico uniformemente, con la dosificación establecida en el proyecto, de manera que la base del abanico que se forma al salir el material por una boquilla, cubra hasta la mitad de la base del abanico de la boquilla contigua (*cubrimiento doble*), o que la base del abanico de una boquilla cubra las dos terceras ($2/3$) partes de la base del abanico de la boquilla contigua (*cubrimiento triple*), como se muestra en la Figura 1 de esta Norma.
- G.4.3.** La aplicación del material asfáltico en una franja contigua a otra previamente regada, se hará de tal manera que el nuevo riego se traslape con el anterior en un medio ($1/2$) o dos tercios ($2/3$) del ancho de la base del abanico de la boquilla extrema de la petrolizadora, según se trate de cubrimiento doble o triple, como se muestra en la Figura 1 de esta Norma, con el propósito de que la dosificación del producto asfáltico en la orilla de la franja precedente sea la indicada en el proyecto.
- G.4.4.** En su caso, el exceso del material asfáltico que se hubiera aplicado debe ser removido. Las deficiencias que por esta causa se presenten, deben ser corregidas por cuenta y costo del Contratista de Obra.
- G.4.5.** La cantidad, temperatura, ancho y longitud de aplicación del material asfáltico son responsabilidad del Contratista de Obra, tomando en cuenta que no se aplicará en tramos mayores de los que puedan ser cubiertos de inmediato con la carpeta asfáltica. La Secretaría se reserva el derecho de no recibir el trabajo si, a su juicio, el riego tiene alguna deficiencia.

CTR. CONSTRUCCIÓN

CAR. CARRETERAS

N-CTR-CAR-1-04-005/00

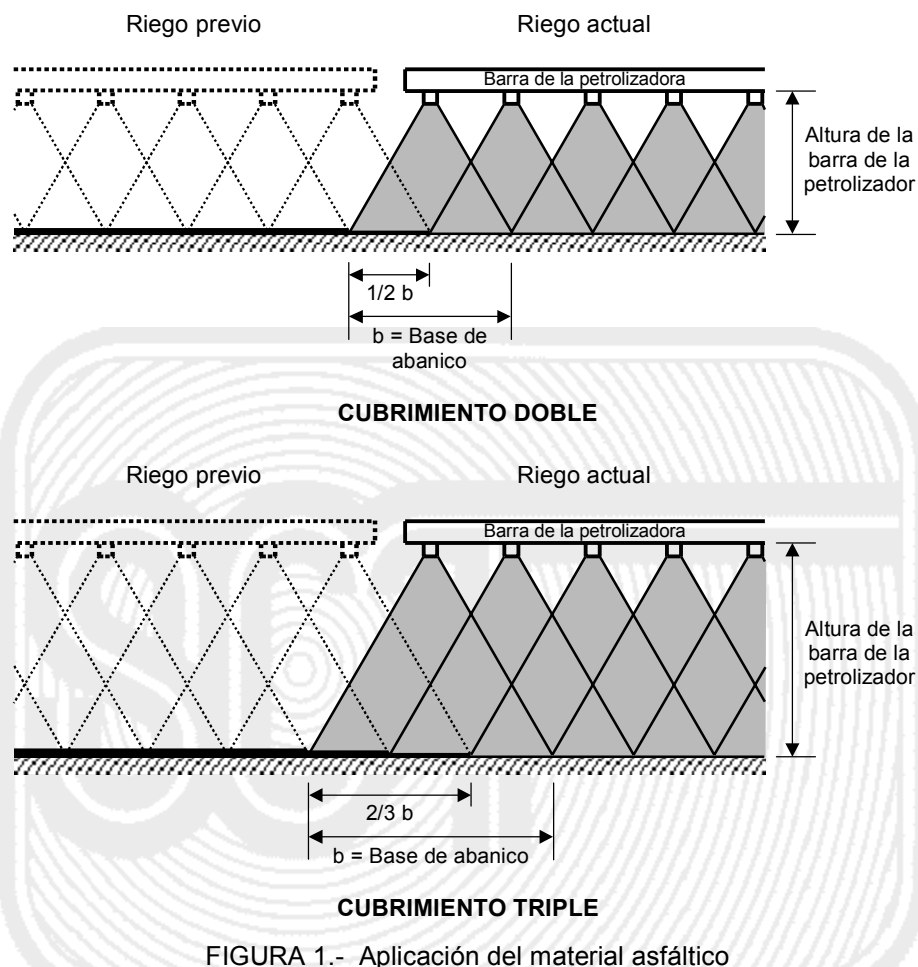


FIGURA 1.- Aplicación del material asfáltico

G.4.6. La superficie cubierta por el riego de liga debe permanecer cerrada a cualquier tipo de tránsito hasta que sea construida la carpeta asfáltica. Cualquier deterioro que se origine en el riego aplicado, por el tránsito de vehículos u otras causas imputables al Contratista de Obra, será reparado por su cuenta y costo.

G.5. CONSERVACIÓN DE LOS TRABAJOS

Es responsabilidad del Contratista de Obra la conservación del riego de liga hasta que haya sido cubierto por la carpeta asfáltica.

NORMAS

N·CTR·CAR·1·04·005/00

H. CRITERIOS PARA ACEPTACIÓN O RECHAZO

Para que un riego de liga sea aceptado por la Secretaría, éste deberá cumplir con todo lo establecido en esta Norma.

I. MEDICIÓN

Cuando la obra se contrate a precios unitarios por unidad de obra terminada y el riego de liga sea ejecutado conforme a lo indicado en esta Norma, a satisfacción de la Secretaría, éste se medirá como parte de la carpeta asfáltica, según se indica en las Cláusulas I. de las Normas N·CTR·CAR·1·04·006, *Carpetas Asfálticas en Caliente* y N·CTR·CAR·1·04·007, *Carpetas Asfálticas en Frío*.

J. BASE DE PAGO

Cuando la obra se contrate a precios unitarios por unidad de obra terminada, el riego de liga ejecutado a satisfacción de la Secretaría, estará incluido en la base de pago de la carpeta asfáltica, según se indica en las Cláusulas J. de las Normas N·CTR·CAR·1·04·006, *Carpetas Asfálticas en Caliente* y N·CTR·CAR·1·04·007, *Carpetas Asfálticas en Frío*.

K. ESTIMACIÓN Y PAGO

La estimación y pago de los riegos de liga aplicados, se incluirá en la que corresponda a la carpeta asfáltica, que se indica en las Cláusulas K. de las Normas N·CTR·CAR·1·04·006, *Carpetas Asfálticas en Caliente* y N·CTR·CAR·1·04·007, *Carpetas Asfálticas en Frío*.

L. RECEPCIÓN DE LA OBRA

La Secretaría recibirá el riego de liga como parte de la carpeta asfáltica cuando ésta haya sido terminada, según se indica en las Cláusulas L. de las Normas N·CTR·CAR·1·04·006, *Carpetas Asfálticas en Caliente* y N·CTR·CAR·1·04·007, *Carpetas Asfálticas en Frío*.

N-CTR-CAR-1.04-006/04

LIBRO: CTR. CONSTRUCCIÓN
TEMA: CAR. Carreteras
PARTE: 1. CONCEPTOS DE OBRA
TÍTULO: 04. Pavimentos
CAPÍTULO: 006. Carpetas Asfálticas con Mezcla en Caliente

A. CONTENIDO

Esta Norma contiene los aspectos por considerar en la construcción de carpetas asfálticas con mezcla en caliente, para pavimentos de carreteras de nueva construcción.

B. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

Las carpetas asfálticas con mezcla en caliente, son aquellas que se construyen mediante el tendido y compactación de una mezcla de materiales pétreos y cemento asfáltico, modificado o no, utilizando calor como vehículo de incorporación. Según la granulometría del material pétreo que se utilice, pueden ser de granulometría densa, semiabierta o abierta.

Las carpetas asfálticas con mezcla en caliente se construyen para proporcionar al usuario una superficie de rodadura uniforme, bien drenada, resistente al derrapamiento, cómoda y segura. Cuando son de un espesor igual a cuatro (4) centímetros o mayor, las carpetas de granulometría densa tienen además la función estructural de soportar y distribuir la carga de los vehículos hacia las capas inferiores del pavimento. Las carpetas de granulometría semiabierta o abierta, no tienen función estructural y generalmente se construyen sobre una carpeta de granulometría densa, con la finalidad principal de permitir que el agua proveniente de la lluvia sea desplazada por las llantas de los vehículos, ocupando los vacíos de la carpeta, con lo que se incrementa la fricción de las llantas con la superficie de rodadura, se

CTR. CONSTRUCCIÓN

CAR. CARRETERAS

N-CTR-CAR-1-04-006/04

minimiza el acuaplaneo, se reduce la cantidad de agua que se impulsa sobre los vehículos adyacentes y se mejora la visibilidad del señalamiento horizontal.

C. REFERENCIAS

Son referencias de esta Norma, las normas E 670 *Standard Test for Side Force Friction on Paved Surfaces Using the Mu-Meter* y E 1274, *Standard Test for Measuring Pavement Roughness Using a Profilograph*, publicadas por la *American Society for Testing and Materials* (ASTM).

Además, esta Norma se complementa con las siguientes:

NORMAS Y MANUAL	DESIGNACIÓN
Ejecución de Obras	N-LEG-3
Riegos de Impregnación	N-CTR-CAR-1-04-004
Riegos de Liga	N-CTR-CAR-1-04-005
Carpetas por el Sistema de Riegos	N-CTR-CAR-1-04-008
Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	N-CMT-4-04
Calidad de Materiales Asfálticos	N-CMT-4-05-001
Calidad de Materiales Asfálticos Modificados	N-CMT-4-05-002
Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras	N-CMT-4-05-003
Criterios Estadísticos de Muestreo	M-CAL-1-02

D. MATERIALES

D.1. Los materiales que se utilicen en la construcción de carpetas asfálticas con mezcla en caliente, cumplirán con lo establecido en las Normas N-CMT-4-04, *Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*, N-CMT-4-05-001, *Calidad de Materiales Asfálticos*, N-CMT-4-05-002, *Calidad de Materiales Asfálticos Modificados* y N-CMT-4-05-003, *Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras*, salvo que el proyecto indique otra cosa o así lo apruebe la Secretaría. Los materiales pétreos procederán de los bancos indicados en el proyecto o aprobados por la Secretaría.

D.2. Si dados los requerimientos de la obra, es necesario modificar las características de los materiales pétreos, del material asfáltico o de la interacción entre ambos utilizando aditivos, éstos estarán

NORMAS

N-CTR-CAR-1-04-006/04

establecidos en el proyecto o serán aprobados por la Secretaría. Si el Contratista de Obra propone la utilización de aditivos, lo hará mediante un estudio técnico que los justifique, sometiéndolo a la consideración de la Secretaría para su análisis y aprobación. Dicho estudio ha de contener como mínimo, las especificaciones y los resultados de las pruebas de calidad, así como los procedimientos para el manejo, uso y aplicación de los aditivos.

- D.3.** No se aceptará el suministro y utilización de materiales que no cumplan con lo indicado en la Fracción D.1. de esta Norma, ni aun en el supuesto de que serán mejorados posteriormente en el lugar de su utilización por el Contratista de Obra.
- D.4.** Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la Secretaría, los materiales presentan deficiencias respecto a las características establecidas como se indica en la Fracción D.1. de esta Norma, se suspenderá inmediatamente el trabajo en tanto que el Contratista de Obra las corrija o los remplace por otros adecuados, por su cuenta y costo. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

E. EQUIPO

El equipo que se utilice para la construcción de carpetas asfálticas con mezcla en caliente, será el adecuado para obtener la calidad especificada en el proyecto, en cantidad suficiente para producir el volumen establecido en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, conforme al programa de utilización de maquinaria, siendo responsabilidad del Contratista de Obra su selección. Dicho equipo será mantenido en óptimas condiciones de operación durante el tiempo que dure la obra y será operado por personal capacitado. Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la Secretaría, el equipo presenta deficiencias o no produce los resultados esperados, se suspenderá inmediatamente el trabajo en tanto que el Contratista de Obra corrija las deficiencias, lo remplace o sustituya al operador. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

E.1. PLANTA DE MEZCLADO

Contará como mínimo con:

CTR. CONSTRUCCIÓN

CAR. CARRETERAS

N-CTR-CAR-1-04-006/04

- E.1.1.** Secador con inclinación ajustable colocado antes de las cribas clasificadoras y con capacidad suficiente para secar una cantidad de material pétreo igual a la capacidad de producción de la planta o mayor.
- E.1.2.** Un pirógrafo a la salida del secador para registrar automáticamente la temperatura del material pétreo.
- E.1.3.** Cribas para clasificar el material pétreo por lo menos en tres (3) tamaños, con capacidad suficiente para mantener siempre en las tolvas material pétreo disponible para la mezcla.
- E.1.4.** Tolvas para almacenar el material pétreo, protegidas de la lluvia y el polvo, con capacidad suficiente para asegurar la operación continua de la planta por lo menos durante quince (15) minutos sin ser alimentadas, y divididas en compartimentos para almacenar los materiales pétreos por tamaños.
- E.1.5.** Dispositivos para dosificar los materiales pétreos por masa, y sólo en casos excepcionales, cuando así lo apruebe la Secretaría, por volumen y que permitan un fácil ajuste de la dosificación de la mezcla en cualquier momento, para poder obtener la granulometría que indique el proyecto.
- E.1.6.** Equipo para calentar el cemento asfáltico en forma controlada, que garantice que éste no se contamine y que esté provisto de un termómetro con rango de veinte (20) a doscientos diez (210) grados Celsius.
- E.1.7.** Dispositivos para dosificar el cemento asfáltico, con una aproximación de más menos dos (± 2) por ciento de la cantidad requerida según el proporcionamiento de la mezcla.
- E.1.8.** Mezcladora equipada con un dispositivo para el control del tiempo de mezclado.
- E.1.9.** Recolector de polvo.
- E.1.10.** Dispositivo para agregar finos.

E.2. PAVIMENTADORAS

Autopropulsadas, capaces de esparcir y precompactar la capa de carpeta que se tienda, con el ancho, sección y espesor establecidos en el proyecto, incluyendo los acotamientos y zonas

NORMAS

N-CTR-CAR.1-04-006/04

similares. Estarán equipadas con los dispositivos necesarios para un adecuado tendido de la carpeta asfáltica, como son: un enrasador o aditamento similar, que pueda ajustarse automáticamente en el sentido transversal, ser calentado en caso necesario y proporcionar una textura lisa y uniforme, sin protuberancias o canalizaciones; una tolva receptora de la mezcla asfáltica con capacidad para asegurar un tendido homogéneo, equipada con un sistema de distribución mediante el cual se reparta la mezcla uniformemente frente al enrasador; y sensores de control automático de niveles.

Los dispositivos externos que se utilicen como referencia de nivel para los sensores de niveles, estarán colocados en zonas limpias de piedras, basura o cualquier otra obstrucción que afecte las lecturas. Si durante la ejecución de los trabajos, los controles automáticos operan deficientemente, la Secretaría, a su juicio, podrá permitir al Contratista de Obra terminar el tendido del día, mediante el uso del control manual de la pavimentadora; sin embargo, el tendido se podrá reiniciar sólo cuando los controles automáticos funcionen adecuadamente.

Es recomendable contar además, con un equipo especial para verter la mezcla asfáltica a la pavimentadora, evitando que el camión vacíe directamente a las tolvas de la misma, mejorando así la uniformidad superficial de la carpeta.

E.3. COMPACTADORES

E.3.1. Compactadores de rodillos metálicos

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

E.3.2. Compactadores neumáticos

Remolcados o autopropulsados. Tendrán nueve (9) ruedas como mínimo, de igual tamaño, montadas sobre dos ejes unidos a un chasis rígido, equipado con una plataforma o cuerpo que pueda ser lastrado, de forma que la masa total del compactador se distribuya uniformemente en ellas, dispuestas de manera que las llantas del eje trasero cubran, en una pasada, el espacio completo entre las llantas

CTR. CONSTRUCCIÓN

CAR. CARRETERAS

N-CTR-CAR-1-04-006/04

adyacentes en el eje delantero. Las llantas serán lisas, con tamaño mínimo de 7.50-15 de cuatro (4) capas e infladas uniformemente a la presión recomendada por el fabricante, con una tolerancia máxima de treinta y cuatro coma cinco (34,5) kilopascales (5 lb/in²).

E.4. BARREDORAS MECÁNICAS

Autopropulsadas o remolcadas. Tendrán una escoba rotatoria con el tipo de cerdas adecuadas según el material por remover y la superficie por barrer.

F. TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO

El transporte y almacenamiento de todos los materiales son responsabilidad exclusiva del Contratista de Obra y los realizará de forma tal que no sufran alteraciones que ocasionen deficiencias en la calidad de la obra, tomando en cuenta lo establecido en las Normas N-CMT-4-04, *Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*, N-CMT-4-05-001, *Calidad de Materiales Asfálticos*, N-CMT-4-05-002, *Calidad de Materiales Asfálticos Modificados* y N-CMT-4-05-003, *Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras*. Se sujetarán, en lo que corresponda, a las leyes y reglamentos de protección ecológica vigentes.

F.1. El transporte de la mezcla se hará siempre sobre superficies pavimentadas.

F.2. La distancia del transporte será de sesenta (60) kilómetros como máximo, la que se reducirá un diez (10) por ciento por cada grado de pendiente ascendente, medida como el desnivel entre la planta de mezclado y el punto de tiro, dividido entre la longitud de transporte.

G. EJECUCIÓN

G.1. CONSIDERACIONES GENERALES

Para la construcción de carpetas asfálticas con mezcla en caliente se considerará lo señalado en la Cláusula D. de la Norma N-LEG-3, *Ejecución de Obras*.

G.2. PROPORCIONAMIENTO DE MATERIALES

G.2.1. Los materiales pétreos, asfálticos y aditivos que se empleen en la elaboración de las carpetas asfálticas con mezcla en caliente, se mezclarán con el proporcionamiento necesario

NORMAS

N-CTR-CAR.1-04-006/04

para producir una mezcla asfáltica homogénea, con las características establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría.

- G.2.2.** El proporcionamiento se determinará mediante un diseño de mezclas asfálticas en caliente, para obtener las características establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría. Este diseño será responsabilidad del Contratista de Obra.
- G.2.3.** Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la Secretaría, con las dosificaciones de los distintos tipos de materiales pétreos, asfálticos y aditivos utilizados en la elaboración de la carpeta asfáltica con mezcla en caliente, no se obtiene una mezcla con las características establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría, se suspenderá inmediatamente el trabajo en tanto que el Contratista de Obra las corrija por su cuenta y costo. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

G.3. CONDICIONES CLIMÁTICAS

Los trabajos serán suspendidos en el momento en que se presenten situaciones climáticas adversas y no se reanudarán mientras éstas no sean las adecuadas, considerando que no se construirán carpetas asfálticas con mezcla en caliente:

- G.3.1.** Sobre superficies con agua libre o encharcada.
- G.3.2.** Cuando exista amenaza de lluvia o esté lloviendo.
- G.3.3.** Cuando la temperatura de la superficie sobre la cual serán construidas esté por debajo de los quince (15) grados Celsius.
- G.3.4.** Cuando la temperatura ambiente esté por debajo de los quince (15) grados Celsius y su tendencia sea a la baja. Sin embargo, las carpetas de granulometría densa pueden ser construidas cuando la temperatura ambiente esté por arriba de los diez (10) grados Celsius y su tendencia sea al alza. La temperatura ambiente será tomada a la sombra lejos de cualquier fuente de calor artificial.

G.4. TRABAJOS PREVIOS

- G.4.1.** Inmediatamente antes de iniciar la construcción de la carpeta asfáltica con mezcla en caliente, la superficie sobre la que se colocará estará debidamente terminada dentro de las líneas y niveles, exenta de materias extrañas, polvo, grasa o encharcamientos de material asfáltico, sin irregularidades y reparados satisfactoriamente los baches que hubieran existido. No se permitirá la construcción sobre superficies que no hayan sido previamente aceptadas por la Secretaría.
- G.4.2.** Si así lo indica el proyecto o lo aprueba la Secretaría, cuando la carpeta se construya sobre una base, ésta debe estar impregnada de acuerdo con lo indicado en la Norma N-CTR-CAR-1-04-004, *Riegos de Impregnación*. Es responsabilidad del Contratista de Obra establecer el lapso entre la impregnación y el inicio de la construcción de la carpeta.
- G.4.3.** Si así lo indica el proyecto o lo aprueba la Secretaría, inmediatamente antes de iniciar el tendido de la carpeta, se aplicará un riego de liga en toda la superficie, de acuerdo con lo indicado en la Norma N-CTR-CAR-1-04-005, *Riegos de Liga*.
- G.4.4.** Los acarreos de la mezcla hasta el sitio de su utilización, se harán de tal forma que el tránsito sobre la superficie donde se construirá la carpeta, se distribuya sobre todo el ancho de la misma, evitando la concentración en ciertas áreas y, por consecuencia, su deterioro. No se permitirá que los camiones que transportan la mezcla asfáltica, hagan maniobras que puedan distorsionar, disgregar u ondular las orillas de una capa recién tendida. En el caso de que por algún motivo esta situación llegue a suceder, el Contratista de Obra reparará inmediatamente los daños causados, por su cuenta y costo.

G.5. ELABORACIÓN DE LA MEZCLA

- G.5.1.** El procedimiento que se utilice para la elaboración de la mezcla es responsabilidad del Contratista de Obra, quien tendrá los cuidados necesarios para el manejo de los materiales a lo largo de todo el proceso, para que la mezcla

NORMAS

N-CTR-CAR.1-04-006/04

cumpla con los requerimientos de calidad establecidos en el proyecto o aprobados por la Secretaría y atenderá lo indicado en la Norma N-CMT-4-05-003, *Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras*.

- G.5.2.** Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la Secretaría, la calidad de la mezcla asfáltica difiere de la establecida en el proyecto o aprobada por la Secretaría, se suspenderá inmediatamente la producción en tanto que el Contratista de Obra la corrija por su cuenta y costo. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.
- G.5.3.** Durante el proceso de producción no se cambiará de un tipo de mezcla a otro, hasta que la planta haya sido vaciada completamente y los depósitos de alimentación del material pétreo sean cargados con el nuevo material.

G.6. TRAMO DE PRUEBA

Sobre la superficie donde se construirá la carpeta asfáltica con mezcla en caliente, el Contratista de Obra ejecutará previamente un tramo de prueba con una longitud de cuatrocientos (400) metros, con la finalidad de evaluar el procedimiento y los equipos que se utilizarán, considerando que:

- G.6.1.** La construcción del tramo de prueba se hará cumpliendo con todo lo establecido en esta Norma.
- G.6.2.** Una vez compactada la carpeta del tramo de prueba, se verificará que cumpla con lo establecido en la Cláusula H. de esta Norma. En caso negativo, el Contratista de Obra construirá el número de tramos de prueba necesarios hasta que cumpla con lo indicado en dicha Cláusula.
- G.6.3.** Si el tramo de prueba construido cumple con lo indicado en el Inciso anterior, podrá considerarse como parte de la obra y será objeto de medición y pago, de lo contrario no se medirá ni pagará y la Secretaría, a su juicio, determinará si es necesario o no que el Contratista de Obra retire el tramo de prueba por su cuenta y costo.

G.7. TENDIDO DE LA MEZCLA

- G.7.1.** Después de elaborada la mezcla asfáltica, se extenderá y se conformará con una pavimentadora autopropulsada, de tal manera que se obtenga una capa de material sin compactar de espesor uniforme. Sin embargo, en áreas irregulares, la mezcla asfáltica puede tenderse y terminarse a mano.
- G.7.2.** Si la mezcla está quemada, no se permitirá su tendido.
- G.7.3.** El Contratista de Obra determinará, mediante la curva *Viscosidad-Temperatura* del material asfáltico utilizado, las temperaturas mínimas convenientes para el tendido y compactación de la mezcla.
- G.7.4.** El tendido se hará en forma continua, utilizando un procedimiento que minimice las paradas y arranques de la pavimentadora.
- G.7.5.** En el caso de carpetas de granulometría densa, cuando el tendido se haga en dos (2) o más franjas, con un intervalo de más de un día entre franjas, éstas se ligarán con cemento asfáltico o con emulsión de rompimiento rápido. Esto se puede evitar si se elimina la junta longitudinal utilizando pavimentadoras en batería.
- G.7.6.** Cuando se trate de carpetas de granulometría semiabierta o abierta, se pueden evitar las juntas longitudinales utilizando pavimentadoras en batería. Cuando esto no sea posible, no se utilizarán productos asfálticos para ligar las juntas de dos franjas sucesivas o en la continuación de una franja con otra, debido a la obstrucción que pueden producir al drenaje dentro de la carpeta. Es importante que, por ningún motivo, se obstruya el drenaje interior en cualquier tramo.
- G.7.7.** En el caso de carpetas de granulometría densa, la cara expuesta de las juntas transversales se recortará aproximadamente a cuarenta y cinco (45) grados antes de iniciar el siguiente tendido, ligando las juntas con cemento asfáltico o con emulsión de rompimiento rápido. Si se trata de carpetas de granulometría semiabierta o abierta, se considerará lo indicado en el Inciso anterior.

NORMAS

N-CTR-CAR.1-04-006/04

- G.7.8.** En cualquier caso, se tendrá especial cuidado para que el enrasador traslape las juntas de tres (3) a cinco (5) centímetros y que el control del espesor sea ajustado de tal manera que el material quede ligeramente por arriba de la capa previamente tendida, para que al ser compactado, el pavimento quede con los niveles y dentro de las tolerancias establecidos en el proyecto o aprobados por la Secretaría.
- G.7.9.** En el caso de carpetas de granulometría densa, de ser necesario, la mezcla se extenderá en capas sucesivas, con un espesor no mayor que aquel que el equipo sea capaz de compactar como se indica en la Fracción G.8. de esta Norma, hasta que se obtengan la sección y el espesor establecidos en el proyecto. Cuando el tendido se haga por capas, la capa sucesiva no se tenderá hasta que la temperatura de la capa anterior sea menor de setenta (70) grados Celsius en su punto medio. El tendido de las carpetas de granulometría semiabierta o abierta se hará en una sola capa.
- G.7.10.** Cada capa de mezcla asfáltica se colocará cubriendo como mínimo el ancho total del carril.
- G.7.11.** Durante el tendido de la mezcla, la tolva de descarga de la pavimentadora permanecerá llena, para evitar la segregación de los materiales. No se permitirá el tendido de la mezcla si existe segregación. Es recomendable utilizar un equipo especial para verter la mezcla asfáltica a la pavimentadora, evitando que el camión vacíe directamente a las tolvas de la misma, mejorando así la uniformidad superficial de la carpeta.
- G.7.12.** Al final de cada jornada y con la frecuencia necesaria, se limpiarán perfectamente todas aquellas partes de la pavimentadora que presenten residuos de mezcla.
- G.7.13.** La longitud de tendido de la mezcla es responsabilidad del Contratista de Obra, tomando en cuenta que no se tenderán tramos mayores de los que puedan ser compactados de inmediato.
- G.7.14.** En el caso de carpetas de granulometría semiabierta o abierta, el tiempo de almacenamiento de la mezcla no excederá de treinta (30) minutos, por lo que habrá una coordinación adecuada entre la producción, el transporte y la colocación de la carpeta.

G.8. COMPACTACIÓN

- G.8.1.** Inmediatamente después de tendida la mezcla asfáltica, será compactada.
- G.8.2.** En el caso de carpetas de granulometría densa, la capa extendida se compactará lo necesario para lograr que cumpla con las características indicadas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría.
- G.8.3.** En el caso de carpetas de granulometría semiabierta o abierta, la mezcla se compactará mediante dos pasadas con compactadores de rodillo liso metálico estático, con una masa mínima de diez (10) toneladas. Si así lo aprueba la Secretaría, se dará solamente una pasada cuando, a su juicio, se detecte un posible fracturamiento del material pétreo.
- G.8.4.** La compactación se hará longitudinalmente a la carretera, de las orillas hacia el centro en las tangentes y del interior al exterior en las curvas, con un traslape de cuando menos la mitad del ancho del compactador en cada pasada.
- G.8.5.** El uso de compactadores vibratorios sólo se permitirá para la compactación de capas mayores de cuatro (4) centímetros de espesor, en carpetas de granulometría densa.
- G.8.6.** La compactación se terminará cuando la mezcla asfáltica tenga una temperatura igual a la mínima conveniente para la compactación, que haya determinado el Contratista de Obra conforme a lo indicado en el Inciso G.7.3. de esta Norma, o mayor.
- G.8.7.** Por ningún motivo se estacionará el equipo de compactación, por periodos prolongados, sobre la carpeta recién compactada, para evitar que se produzcan deformaciones permanentes en la superficie terminada.

G.9. ACABADO

- G.9.1.** Una vez concluida la compactación en todo el ancho de la corona de la última capa de la carpeta de granulometría densa, se formará un chaflán en las orillas, cuya base será igual a uno coma cinco (1,5) veces el espesor de la carpeta

NORMAS

N-CTR-CAR.1-04-006/04

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

- G.9.2.** En el caso de carpetas de granulometría semiabierta o abierta, una vez concluida la compactación en todo el ancho de la corona, se verificará que no se haya obstruido el drenaje lateral en ningún tramo. En el caso de que existan obstrucciones, el Contratista de Obra las eliminará por su cuenta y costo.

G.10. CONSERVACIÓN DE LOS TRABAJOS

Es responsabilidad del Contratista de Obra la conservación de la carpeta asfáltica hasta que haya sido recibida por la Secretaría, cuando la carretera sea operable.

H. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN O RECHAZO

Además de lo establecido anteriormente en esta Norma, para que la carpeta asfáltica con mezcla en caliente, de cada tramo de un (1) kilómetro de longitud o fracción, se considere terminada y sea aceptada por la Secretaría, con base en el control de calidad que ejecute el Contratista de Obra, mismo que podrá ser verificado por la Secretaría cuando lo juzgue conveniente, se comprobará:

H.1. CALIDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

- H.1.1.** Que los materiales pétreos, asfálticos y aditivos utilizados en la mezcla asfáltica, hayan cumplido con las características establecidas como se indica en la Fracción D.1. de esta Norma.
- H.1.2.** Que las características de la mezcla asfáltica hayan cumplido con las establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría.
- H.1.3.** Que la estabilidad de la carpeta de granulometría densa, determinada en corazones extraídos al azar mediante un procedimiento basado en tablas de números aleatorios, conforme a lo indicado en el Manual M-CAL-1-02, *Criterios Estadísticos de Muestreo*, haya cumplido con lo establecido en el proyecto o lo aprobado por la Secretaría, considerando que:

CTR. CONSTRUCCIÓN

CAR. CARRETERAS

N-CTR-CAR-1-04-006/04

H.1.3.1. El número de corazones por extraer se determinará aplicando la siguiente fórmula:

$$c = \frac{L}{50}$$

Donde:

c = Número de corazones por extraer, aproximado a la unidad superior

L = Longitud del tramo, (m)

H.1.3.2. Los corazones se extraerán sin dañar la parte contigua de los mismos.

H.1.3.3. Tan pronto se concluya la extracción de los corazones, se rellenarán los huecos con el mismo tipo de mezcla asfáltica utilizada en la carpeta, compactándola y enrasando su superficie con la original de la carpeta.

H.1.3.4. Todas las estabilidades que se determinen en los corazones, deberán estar dentro de las tolerancias que fije el proyecto o apruebe la Secretaría.

H.2. ÍNDICE DE PERFIL

Que el índice de perfil de la última capa de la carpeta asfáltica de granulometría densa compactada, en cada línea de tendido de cada subtramo de doscientos (200) metros de longitud o fracción, haya sido de catorce centímetros por kilómetro (14 cm / km) como máximo, a menos que el proyecto indique otro valor. El Contratista de Obra hará esta verificación conforme a la norma ASTM E 1274, dentro de las cuarenta y ocho (48) horas siguientes a la terminación de la compactación, considerando lo que a continuación se señala. La Secretaría evaluará diariamente los resultados que se obtengan.

H.2.1. Equipo

El Contratista de Obra dispondrá y mantendrá durante el tiempo que dure la obra, de un perfilógrafo tipo California que cumpla con la norma ASTM E 1274. Antes de su utilización, el equipo se calibrará como se indica en esa norma, pudiendo la

NORMAS

N-CTR-CAR.1-04-006/04

Secretaría verificar la calibración en cualquier momento y si a su juicio, el perfilógrafo presenta deficiencias o no está bien calibrado, se suspenderá inmediatamente la evaluación en tanto que el Contratista de Obra lo calibre adecuadamente, corrija las deficiencias o lo remplace. En ningún caso se medirán para efecto de pago carpetas que no hayan sido verificadas.

H.2.2. Tramo de prueba

Para que el tramo de prueba a que se refiere la Fracción G.6. de esta Norma sea aceptado por la Secretaría, debe tener un índice de perfil de catorce centímetros por kilómetro (14 cm / km) como máximo.

H.2.3. Determinación del índice de perfil

H.2.3.1. La obtención del índice de perfil, en cada línea de tendido, se hará a lo largo de la línea imaginaria ubicada a noventa más menos veinte (90 ± 20) centímetros de la orilla interior de la línea de tendido por evaluar. Las mediciones serán divididas en secciones consecutivas de doscientos (200) metros, con el propósito de establecer subtramos en los que se otorgue al Contratista de Obra un estímulo por mejoramiento de calidad o se le aplique una sanción por incumplimiento de calidad, respecto al precio unitario fijado en el contrato, según la calidad obtenida en la superficie terminada y de acuerdo con el criterio establecido en la Cláusula J. de esta Norma.

H.2.3.2. Cuando la longitud de un subtramo construido en un día de trabajo, no alcance los doscientos (200) metros, será agrupado con el tramo inmediato que se construya el día siguiente. En este caso, la medición del índice de perfil deberá hacerse tan pronto como sea práctico y posible, pero no después de cuarenta y ocho (48) horas de terminado el último subtramo de ese día. Si el Contratista de Obra no es el responsable del tendido de un tramo subsecuente, no se medirá el índice de perfil en los cinco (5) últimos metros del tendido de su tramo.

CTR. CONSTRUCCIÓN

CAR. CARRETERAS

N-CTR-CAR-1-04-006/04

H.2.3.3. Si el índice de perfil determinado en alguna línea de tendido de un subtramo de doscientos (200) metros o fracción, resulta menor de diez coma un centímetros por kilómetro (10,1 cm / km), el Contratista de Obra se hará acreedor a un estímulo por mejoramiento de calidad, calculado con base en el precio unitario de la carpeta asfáltica. En su caso, el estímulo se determinará mediante el factor que se establece en la Cláusula J. de esta Norma.

H.2.4. Índice de perfil promedio diario

H.2.4.1. Cada día de trabajo se determinará el índice de perfil promedio diario, obteniendo el promedio aritmético de todos los índices de perfil determinados ese día. Si el índice de perfil promedio diario, resulta mayor de veinticuatro centímetros por kilómetro (24 cm / km), se suspenderá de inmediato la construcción de la carpeta asfáltica, hasta que el Contratista de Obra corrija la carpeta defectuosa, según se indica en el Inciso H.2.5. Para reanudar la construcción de la carpeta, el Contratista de Obra debe construir otro tramo de prueba según lo indicado en la Fracción G.6. de esta Norma, como si se tratara del inicio de los trabajos. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

H.2.4.2. Para determinar el índice de perfil promedio diario se puede utilizar el formato que se muestra en la Tabla 1 de esta Norma, en el que, para un mismo día de trabajo y cada línea de tendido y subtramo, se anota el índice de perfil obtenido. Se calcula el promedio aritmético de todos los índices de perfil obtenidos el mismo día y se anota en el último renglón del formato. Si el tramo tiene más de dos (2) líneas de tendido, al formato se le agregan las columnas que sean necesarias para completar el número de líneas de tendido. Los índices de perfil que se obtengan en subtramos que hayan sido corregidos como se indica en el Inciso H.2.5. de esta Norma, serán registrados en la columna correspondiente, pues los valores originales deberán conservarse sin alterar.

NORMAS

N-CTR-CAR.1-04-006/04

TABLA 1.- Formato para el cálculo del índice de perfil promedio diario

Fecha de construcción:

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

$\bar{I}_p =$

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

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

I_{p_c} = Índice de perfil después de corregido el subtramo y línea de tendido correspondientes

[1] = Tramo de 1 km o fracción

[2] = Subtramo de 200 m o fracción

H.2.5. Corrección de la superficie de la carpeta asfáltica

H.2.5.1. El Contratista de Obra realizará las correcciones de la superficie de la carpeta asfáltica que se requieran para obtener el índice de perfil adecuado.

H.2.5.2. Después de obtenido el índice de perfil de cada línea de tendido en un subtramo de doscientos (200) metros, todas aquellas áreas en las que el perfilograma presente una desviación igual a un (1) centímetro o mayor, en siete coma cinco (7,5) metros o menos, serán corregidas mediante fresado. Concluida la corrección, se obtendrá nuevamente el índice de perfil del subtramo para verificar el cumplimiento de lo aquí estipulado.

CTR. CONSTRUCCIÓN

CAR. CARRETERAS

N-CTR-CAR-1-04-006/04

H.2.5.3. Una vez realizadas las correcciones individuales de todas las desviaciones a que se refiere el Párrafo anterior, cualquier subtramo de doscientos (200) metros que presente un índice de perfil mayor de veinticuatro centímetros por kilómetro (24 cm / km) en cualquiera de sus líneas de tendido, será corregido mediante alguno de los procedimientos que se indican a continuación u otros que apruebe la Secretaría. En cualquier caso, concluida la corrección se determinarán nuevamente los índices de perfil de todas las líneas de tendido del subtramo para verificar el cumplimiento de lo aquí estipulado.

a) Fresado continuo de la superficie de la carpeta de granulometría densa, en tramos no menores de cincuenta (50) metros y a todo el ancho de la corona en carreteras de dos (2) carriles, o en todos los carriles de un mismo sentido en carreteras con carriles múltiples, para reducir el índice de perfil a veinticuatro centímetros por kilómetro (24 cm / km) o menos. Sobre la superficie fresada, se colocará un tratamiento superficial aprobado por la Secretaría, con un espesor de dos (2) centímetros como mínimo, a menos que el proyecto establezca la construcción de una carpeta de granulometría abierta o semiabierta.

b) Colocación sobre la carpeta de granulometría densa, de una sobrecarpeta de tres (3) centímetros de espesor como mínimo, en tramos no menores de cincuenta (50) metros y a todo el ancho de la corona en carreteras de dos (2) carriles, o en todos los carriles de un mismo sentido en carreteras con carriles múltiples, elaborada con la misma mezcla utilizada en la carpeta, que cumpla con todo lo indicado en esta Norma y tenga un índice de perfil de veinticuatro centímetros por kilómetro (24 cm / km) como máximo.

H.2.5.4. Cuando el índice de perfil de alguna línea de tendido de un subtramo de doscientos (200) metros esté entre catorce coma uno y veinticuatro centímetros por kilómetro (14,1 a 24 cm / km), el Contratista de Obra podrá elegir entre corregir la superficie terminada como

NORMAS

N-CTR-CAR.1-04-006/04

se indica en el Párrafo H.2.5.3., o aceptar una sanción por incumplimiento de calidad, calculada con base en el precio unitario de la carpeta asfáltica, mediante el factor que se establece en la Cláusula J. de esta Norma.

H.2.5.5. Todos los trabajos de corrección serán por cuenta y costo del Contratista de Obra, y previamente a su ejecución, los procedimientos de corrección de la superficie de la carpeta serán sometidos a la aprobación de la Secretaría. No se permitirá efectuar trabajos de corrección con equipos de impacto que puedan dañar la estructura del pavimento, ni con resanes superficiales adheridos. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que se ocasionen por motivo de las correcciones, serán imputables al Contratista de Obra.

H.2.5.6. Todos los trabajos de corrección de la superficie de la carpeta, se efectuarán antes de que se verifiquen sus líneas, pendientes y espesores, como se indica en la Fracción H.3. de esta Norma, salvo que la corrección se realice mediante una sobrecarpeta, en cuyo caso la verificación de los espesores se hará antes de colocarla.

H.3. LÍNEAS, PENDIENTES Y ESPESORES

Que el alineamiento, perfil, sección y espesor de la carpeta, cumplan con lo establecido en el proyecto, con las tolerancias que se indican en esta Fracción, como sigue:

H.3.1. Previamente a la construcción de la carpeta, en las estaciones cerradas a cada veinte (20) metros, se nivelará la corona terminada de la capa inmediata inferior, obteniendo los niveles en el eje y en ambos lados de éste, en puntos ubicados a una distancia igual al semiancho de la corona de la carpeta menos setenta (70) centímetros, a la mitad del espacio comprendido entre éstos y el eje, y en las orillas de la carpeta.

H.3.2. Una vez compactada la carpeta, verificados sus índices de perfil y, en su caso, hechas las correcciones a que se refiere el Inciso H.2.5., se volverán a nivelar las mismas secciones que se indican en el Inciso H.3.1., determinando las

CTR. CONSTRUCCIÓN

CAR. CARRETERAS

N-CTR-CAR-1-04-006/04

elevaciones de los mismos puntos ahí indicados para obtener las pendientes transversales entre ellos, y se medirán, en cada sección, las distancias entre el eje y las orillas de la carpeta, para verificar que esas pendientes y distancias estén dentro de las tolerancias que se indican en la Tabla 2 de esta Norma.

TABLA 2.- Tolerancias para líneas y pendientes

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

H.3.3. Si para corregir la superficie de la carpeta se opta por colocar una sobrecarpeta como se señala en el Punto b) del Párrafo H.2.5.3. o por cualquier otro procedimiento aprobado por la Secretaría, que eleve esa superficie, antes de su ejecución se nivelarán las mismas secciones a que se refiere el Inciso H.3.1. de esta Norma, determinando las elevaciones de los mismos puntos ahí indicados para obtener los espesores de la carpeta antes de ser corregida.

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

H.3.5. A partir de las cotas obtenidas en las nivelaciones a que se refieren los Incisos H.3.1., H.3.2. y H.3.3. de esta Norma, según sea el caso, en todos los puntos nivelados se determinarán los espesores de la carpeta compactada, los que deberán ser iguales al fijado en el proyecto o, para cada tramo de un (1) kilómetro o fracción, cumplir con lo establecido en los Incisos H.3.6. y H.3.7. de esta Norma.

H.3.6. El espesor promedio correspondiente a todas las determinaciones hechas en el tramo, deberá ser igual a noventa y ocho centésimos (0,98) del espesor de proyecto o mayor:

NORMAS

N-CTR-CAR.1-04-006/04

$$\bar{e} \geq 0,98e$$

Donde:

e = Espesor de proyecto, (cm)

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

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

Donde:

e_i = Espesor obtenido en cada determinación, (cm)

n = Número de determinaciones hechas en el tramo

H.3.7. La desviación estándar de todos los espesores determinados en el tramo, deberá ser igual a diez centésimos (0,10) del espesor promedio o menor:

$$\sigma_e \leq 0,10\bar{e}$$

Donde:

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

$$\sigma_e = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (e_i - \bar{e})^2}{n - 1} \right)^{1/2}$$

\bar{e} , e_i y n tienen el significado indicado en el Inciso anterior.

H.4. RESISTENCIA A LA FRICCIÓN

H.4.1. Que la superficie de rodadura de la carpeta asfáltica compactada, haya tenido una resistencia a la fricción en condiciones de pavimento mojado, igual a seis décimas (0,6) o mayor, medida con el equipo *Mu-Meter*, a una velocidad de setenta y cinco (75) kilómetros por hora, por lo menos sobre la huella de la rodada externa de cada línea de tendido. El

CTR. CONSTRUCCIÓN

CAR. CARRETERAS

N-CTR-CAR-1-04-006/04

Contratista de Obra hará esta verificación conforme a la norma ASTM E 670. La prueba se hará sobre la superficie de rodadura compactada y, en su caso, corregida de acuerdo con lo indicado en el Inciso H.2.5. de esta Norma.

- H.4.2.** Cuando la resistencia a la fricción de una carpeta de granulometría densa, sea menor de seis décimas (0,6) y el proyecto no establezca la construcción sobre ella de una carpeta de granulometría abierta o semiabierta, el Contratista de Obra, por su cuenta y costo, corregirá la superficie terminada mediante la colocación de una carpeta de un riego, conforme a lo indicado en la Norma N-CTR-CAR-1-04-008, *Carpetas por el Sistema de Riegos*, en tramos no menores de cincuenta (50) metros y a todo el ancho de la corona en carreteras de dos (2) carriles, o en todos los carriles de un mismo sentido en carreteras con carriles múltiples. La corrección también podrá hacerse mediante alguno de los procedimientos indicados en los Puntos a) y b) del Párrafo H.2.5.3, en cuyo caso, una vez concluida, se determinarán nuevamente la resistencia a la fricción y los índices de perfil de todas las líneas de tendido del subtramo, para verificar el cumplimiento de lo estipulado tanto en el Inciso anterior como en la Fracción H.2. de esta Norma.

I. MEDICIÓN

Quando la construcción de carpetas asfálticas con mezcla en caliente se contrate a precios unitarios por unidad de obra terminada y sea ejecutada conforme a lo indicado en esta Norma, a satisfacción de la Secretaría, se medirá según lo señalado en la Cláusula E. de la Norma N-LEG-3, *Ejecución de Obras*, para determinar el avance o la cantidad de trabajo realizado para efecto de pago, tomando como unidad el metro cúbico de carpeta terminada, según su tipo y para cada banco en particular, con aproximación a la unidad. El volumen de cada tramo de un (1) kilómetro o fracción, se determinará mediante la siguiente fórmula:

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

Donde:

V = Volumen de la carpeta asfáltica de cada tramo de 1 km o fracción, (m³)

L = Longitud del tramo, (m)

NORMAS

N-CTR-CAR-1-04-006/04

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

\bar{a} = Ancho promedio de la carpeta asfáltica, obtenido con base en las distancias entre el eje y las orillas de la corona, determinadas en todas las secciones del tramo como se indica en el Inciso H.3.2. de esta Norma, (m).

La Secretaría medirá y pagará como máximo el volumen de la carpeta asfáltica que resulte del espesor de proyecto más un (1) centímetro por el ancho de proyecto más un (1) centímetro.

Para el cálculo del volumen en el tramo medido se puede usar el formato que se muestra en la Tabla 3 de esta Norma.

TABLA 3.- Formato para el cálculo de los volúmenes, los estímulos o sanciones y los importes a pagar

Tramo ^[1]		L m	\bar{e} m	\bar{a} m	V m ³	PU \$	Importe \$ ^[2]	\bar{F}	E \$
del km	al km								
+	+								
+	+								
+	+								
+	+								
+	+								
Sumas =							\$		\$
Importe total =							\$		

L = Longitud del tramo correspondiente

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

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

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

PU = Precio unitario de la carpeta

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

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

[1] = Tramo de 1 km o fracción

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

J. BASE DE PAGO

Cuando la construcción de carpetas asfálticas con mezcla en caliente se contrate a precios unitarios por unidad de obra terminada y sea medida de acuerdo con lo indicado en la Cláusula I. de esta Norma, se pagará al precio fijado en el contrato para el metro cúbico de carpeta terminada en cada tramo de un (1) kilómetro o fracción, según su tipo y

CTR. CONSTRUCCIÓN

CAR. CARRETERAS

N-CTR-CAR-1-04-006/04

para cada banco en particular. Estos precios unitarios, conforme a lo indicado en la Cláusula F. de la Norma N-LEG-3, *Ejecución de Obras*, incluyen lo que corresponda por:

- Valor de adquisición o producción de los materiales asfálticos para la carpeta y para el riego de liga, así como de los aditivos que se requieran. Limpieza del tanque en que se transporten, movimientos en la planta de producción y en el lugar de destino, carga al equipo de transporte, transporte al lugar de almacenamiento, descarga en el depósito, cargo por almacenamiento y todas las operaciones de calentamiento y bombeo requeridas.
- Desmonte y despalme de los bancos; extracción del material pétreo aprovechable y del desperdicio, cualesquiera que sean sus clasificaciones; cribados y desperdicios de los cribados; trituración parcial o total; lavado o eliminación del polvo superficial adherido a los materiales; cargas, descargas y todos los acarrees de los materiales y de los desperdicios; formación de los almacenamientos y clasificación de los materiales pétreos separándolos por tamaños.
- Instalación, alimentación y desmantelamiento de las plantas.
- Secado del material pétreo; dosificación, calentamiento y mezclado de los materiales pétreos, asfálticos y aditivos.
- Barrido y limpieza de la superficie sobre la que se construirá la carpeta.
- Aplicación del riego de liga según lo indicado en la Norma N-CTR-CAR-1-04-005, *Riegos de Liga*.
- Cargas en la planta de la mezcla asfáltica al equipo de transporte y acarreo al lugar de tendido.
- Tendido y compactación de la mezcla asfáltica.
- Los tiempos de los vehículos empleados en los transportes de todos los materiales durante las cargas y las descargas.
- La conservación de la carpeta asfáltica hasta que sea recibida por la Secretaría.
- Y todo lo necesario para la correcta ejecución de este concepto.

Cuando procedan estímulos por mejoramiento de calidad o sanciones por incumplimiento de calidad, de acuerdo con los índices de perfil de la carpeta asfáltica, que se obtengan según se señala en la Fracción H.2., se pagará al Contratista de Obra una bonificación o se le hará una

NORMAS

N-CTR-CAR.1-04-006/04

deducción, según corresponda, calculada para cada tramo de un (1) kilómetro o fracción, medido como se indica en la Cláusula I. de esta Norma, mediante la siguiente fórmula:

$$E = V \times PU \times \bar{F}$$

Donde:

E = Estímulo a pagar como bonificación cuando resulta positivo o sanción aplicada como deducción cuando resulta negativo, para cada tramo de un (1) kilómetro o fracción, (\$)

V = Volumen de la carpeta asfáltica del tramo, (m³)

PU = Precio unitario de la carpeta asfáltica fijado en el contrato, (\$/m³)

\bar{F} = Factor promedio de estímulo o sanción del tramo. Promedio aritmético de los factores de estímulo o sanción (F_j) para cada subtramo de doscientos (200) metros en cada línea de tendido, tomados de la Tabla 4 de esta Norma, (adimensional)

TABLA 4.- Factores de estímulo o sanción, según el índice de perfil

Índice de perfil * cm / km	Factores de estímulo o sanción (F_j)	
4,0 o menos	Estímulo	+ 0,05
4,1 a 5,5		+ 0,04
5,6 a 7,0		+ 0,03
7,1 a 8,5		+ 0,02
8,6 a 10,0		+ 0,01
10,1 a 14,0	0	
14,1 a 16,0	Sanción	- 0,02
16,1 a 18,0		- 0,04
18,1 a 20,0		- 0,06
20,1 a 22,0		- 0,08
22,1 a 24,0		- 0,10
Mayor de 24,0	CORREGIR	

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

Para calcular el factor promedio de estímulo o sanción (\bar{F}) se puede utilizar el formato que se muestra en la Tabla 5, en el que, para cada línea de tendido y subtramo, se anota el factor de estímulo o sanción (F_j) tomado de la Tabla 4, de acuerdo con el índice de perfil (I_p)

**CTR. CONSTRUCCIÓN
CAR. CARRETERAS**

N-CTR-CAR-1-04-006/04

obtenido de la Tabla 1 y se calcula el promedio aritmético de todos los factores de estímulo o sanción (F_j) de cada tramo, que se anota en la última columna del formato, en el cuadro correspondiente. Para subtramos que hayan sido corregidos como se indica en el Inciso H.2.5. de esta Norma, el factor de estímulo o sanción (F_j) correspondiente se determina con base en el índice de perfil (I_{p_c}) logrado después de la corrección. Si el tramo tiene más de dos (2) líneas de tendido, al formato se le agregan las columnas que sean necesarias para completar el número de líneas de tendido.

TABLA 5.- Formato para el cálculo del factor promedio de estímulo o sanción de cada tramo

Mes: Año:

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

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

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

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

[1] = Tramo de 1 km o fracción

[2] = Subtramo de 200 m o fracción

[3] = Día en el que se construyó la carpeta

Asimismo, para calcular el estímulo o la sanción (E) de cada tramo, se puede usar la Tabla 3, en la que se anotan los factores promedio de estímulo o sanción (\bar{F}) correspondientes, calculados en la Tabla 5 de esta Norma.

NORMAS

N-CTR-CAR.1-04-006/04

K. ESTIMACIÓN Y PAGO

La estimación y pago de las carpetas asfálticas con mezcla en caliente, se efectuará de acuerdo con lo señalado en la Cláusula G. de la Norma N-LEG-3, *Ejecución de Obras*.

L. RECEPCIÓN DE LA OBRA

Una vez concluida la construcción de la carpeta asfáltica con mezcla en caliente, la Secretaría la aprobará y al término de la obra, cuando la carretera sea operable, la recibirá conforme a lo señalado en la Cláusula H. de la Norma N-LEG-3, *Ejecución de Obras*, aplicando en su caso, las sanciones a que se refiere la Cláusula I. de la misma Norma.



LIBRO: CSV. CONSERVACIÓN
TEMA: CAR. Carreteras
PARTE: 2. TRABAJOS DE CONSERVACIÓN RUTINARIA
TÍTULO: 02. Pavimentos
CAPÍTULO: 002. Sellado de Grietas Aisladas en Carpetas Asfálticas

A. CONTENIDO

Esta Norma contiene los aspectos a considerar en los trabajos de sellado de grietas aisladas en carpetas asfálticas.

B. DEFINICIÓN

Es el conjunto de actividades necesarias para sellar grietas de hasta un (1) centímetro de abertura, que se manifiesten en forma aislada en carpetas asfálticas, con el propósito de prevenir la entrada de cuerpos extraños y del agua proveniente de escurrimientos superficiales, hacia las capas inferiores que integran la estructura del pavimento, evitando así la consecuente pérdida de resistencia, degradación o deterioro.

C. REFERENCIAS

Esta Norma se complementa las siguientes:

NORMAS	DESIGNACIÓN
Ejecución de Obras	N·LEG-3
Ejecución de Proyectos de Señalamiento y Dispositivos para Protección en Obras	N·PRY·CAR·10·03·001
Prácticas Ambientales durante la Conservación Rutinaria de las Obras	N·CSV·CAR·5·01·001
Materiales Pétreos para Carpetas y Mezclas Asfálticas	N·CMT·4·04
Calidad de Materiales Asfálticos	N·CMT·4·05·001
Calidad de Materiales Asfálticos Modificados ...	N·CMT·4·05·002

CSV. CONSERVACIÓN

CAR. CARRETERAS

N·CSV·CAR·2·02·002/00

Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras . N·CMT·4·05·003

D. MATERIALES

- D.1.** Los materiales que se utilicen para el sellado de grietas en carpetas asfálticas pueden ser morteros, materiales asfálticos o productos especiales. En su caso, cumplirán con lo establecido en las Normas N·CMT·4·04, *Materiales Pétreos para Carpetas y Mezclas Asfálticas* y N·CMT·4·05·001, *Calidad de Materiales Asfálticos*, salvo que la Secretaría indique otra cosa.
- D.2.** No se aceptará el suministro y utilización de materiales que no cumplan con lo indicado en la Fracción D.1. de esta Norma, ni aun en el supuesto de que serán mejorados posteriormente en el lugar de su utilización por el Contratista de Obra
- D.3.** Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la Secretaría, los materiales presentan deficiencias respecto a las características establecidas como se indica en la Fracción D.1. de esta Norma, se suspenderá inmediatamente el trabajo en tanto que el Contratista de Obra los corrija por su cuenta y costo. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

E. EQUIPO

El equipo que se utilice para el sellado de grietas, será el adecuado para obtener la calidad especificada por la Secretaría, en cantidad suficiente para sellar la superficie determinada por la misma y conforme al programa de utilización de maquinaria, siendo responsabilidad del Contratista de Obra su selección. Dicho equipo será mantenido en óptimas condiciones de operación durante el tiempo que duren los trabajos y será operado por personal capacitado. Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la Secretaría, el equipo presenta deficiencias o no produce los resultados esperados, se suspenderá inmediatamente el trabajo en tanto que el Contratista de Obra corrija las deficiencias, lo remplace o sustituya al operador. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

E.1. UNIDADES DE AGUA A PRESIÓN

Provistas de boquillas capaces de producir una presión mínima de catorce (14) megapascales ($\pm 143 \text{ kg/cm}^2$).

NORMAS

N·CSV·CAR·2·02·002/00

E.2. COMPRESORES DE AIRE

Capaces de producir una presión mínima de seiscientos veinte (620) kilopascales ($\pm 6 \text{ kg/cm}^2$).

E.3. EQUIPOS PARA LA INYECCIÓN DEL MATERIAL DE SELLADO

Consistente en bombas de extrusión con la suficiente capacidad para inyectar el volumen requerido de material de sellado hasta la profundidad adecuada, equipadas con una boquilla cuya forma ajuste dentro de las grietas y con la cual se pueda formar una cama uniforme del ancho y profundidad entre las caras de las grietas.

F. TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO

El transporte y almacenamiento de todos los materiales y productos son responsabilidad exclusiva del Contratista de Obra y los realizará de forma tal que no sufran alteraciones que ocasionen deficiencias en la calidad de la obra, tomando en cuenta lo establecido en las Normas N·CMT·4·04, *Materiales Pétreos para Carpetas y Mezclas Asfálticas*, N·CMT·4·05·001, *Calidad de Materiales Asfálticos*, N·CMT·4·05·002, *Calidad de Materiales Asfálticos Modificados* y N·CMT·4·05·003, *Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras* y considerando las recomendaciones del fabricante en el caso de productos comerciales. Se sujetarán en lo que corresponda, a las leyes y reglamentos de protección ecológica vigentes.

G. EJECUCIÓN

G.1. CONSIDERACIONES GENERALES

Para el sellado de grietas se considerará lo señalado en la Cláusula D. de la Norma N·LEG·3, *Ejecución de Obras*.

G.2. PREPARACIÓN DE LOS MATERIALES DE SELLADO

La preparación y manejo de los materiales que se empleen en el sellado de grietas, es responsabilidad del Contratista de Obra, y se harán considerando lo siguiente:

- G.2.1. Cuando se utilice mortero asfáltico, éste tendrá una dosificación que cumpla con la calidad indicada por la Secretaría.

CSV. CONSERVACIÓN

CAR. CARRETERAS

N·CSV·CAR·2·02·002/00

G.2.2. Cuando se utilicen cementos asfálticos, se calentarán para que tengan una temperatura de aplicación mínima de ciento cuarenta (140) grados Celsius.

G.2.3. Cuando se utilicen productos de tipo comercial, se prepararán conforme a las instrucciones que proporcione el fabricante y apruebe la Secretaría.

G.3. CONDICIONES CLIMÁTICAS

Los trabajos serán suspendidos en el momento en que se presenten situaciones climáticas adversas y no se reanudarán mientras éstas no sean las adecuadas, considerando que no se sellarán grietas en las siguientes condiciones:

G.3.1. Sobre superficies con agua libre o encharcada.

G.3.2. Cuando esté lloviendo.

G.3.3. Cuando la temperatura ambiente o de la carpeta sea menor o igual que trece (13) grados Celsius y se vayan a utilizar materiales o productos asfálticos que se apliquen en caliente.

G.4. TRABAJOS PREVIOS

G.4.1. Antes de iniciar los trabajos de sellado de grietas, el Contratista de Obra debe instalar las señales y los dispositivos de seguridad, así como contar con los bandereros, que se requieran conforme a lo indicado en la Norma N·PRY·CAR·10·03·001, *Ejecución de Proyectos de Señalamiento y Dispositivos para Protección en Obras*, tomando en cuenta todo lo referente a señalamiento y seguridad que establece la Cláusula D. de la Norma N·LEG·3, *Ejecución de Obras*. En ningún caso se permitirá la ejecución de los trabajos de sellado de grietas mientras no se cumpla con lo establecido en este Inciso. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

G.4.2. Inmediatamente antes del sellado, la grieta por tratar debe estar limpia, exenta de materiales sueltos, substancias extrañas, polvo o humedad excesiva. Para tal objeto se limpiarán enérgicamente las caras interiores de la grieta, empleando cepillos de cerda y aire comprimido, según se

NORMAS

N·CSV·CAR·2·02·002/00

requiera. Cuando por cualquier circunstancia se suspenda la colocación del sello, antes de colocar éste, la grieta se limpiará nuevamente.

G.4.3. Cuando se utilice una emulsión asfáltica en frío o un mortero asfáltico con emulsión, previo a su aplicación, se hará un rociado ligero de agua en las caras interiores de la grieta, para propiciar su enfriamiento y evitar el rompimiento prematuro de la emulsión.

G.4.4. Cuando se utilice cemento asfáltico o materiales para sellado aplicados en caliente, las paredes de la grieta deben estar totalmente secas al momento de colocar el material.

G.5. APLICACIÓN

G.5.1. Al momento de su aplicación, el material o producto para sellado presentará la viscosidad adecuada para fluir libremente a través de las grietas.

G.5.2. Para la aplicación, se emplearán dispositivos adecuados con boquillas cuyas dimensiones sean congruentes con la abertura de las grietas por tratar; las boquillas se mantendrán limpias para evitar la presencia de residuos. Se pueden utilizar procedimientos distintos, previa autorización de la Secretaría.

G.5.3. La aplicación del material debe hacerse distribuyéndolo en toda la extensión de la grieta, evitando al máximo excederse en la cantidad aplicada.

G.5.4. Los excedentes del material vertido se eliminarán, utilizando rasquetas o enrasadores, provistos de allanadores de goma o de neopreno.

G.5.5. No se aceptará la segregación, los grumos o el rompimiento anticipado de los materiales o productos por aplicar.

G.5.6. Una vez aplicado el producto, se evitará el tránsito vehicular sobre la superficie recién tratada, hasta que el material de sellado haya fraguado, para evitar que sea desprendido. El tiempo de fraguado es responsabilidad del Contratista de Obra y lo estimará en campo, de acuerdo con las condiciones climáticas y el tipo de material utilizado.

G.6. ACABADO

Una vez concluido el sellado de la grieta, la superficie de rodamiento debe presentar una textura uniforme, sin rebordes que impidan el libre escurrimiento superficial del agua sobre la carpeta.

G.7. MEDIDAS DE MITIGACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL

Durante el sellado de grietas, el Contratista de Obra tomará las precauciones necesarias para evitar la contaminación de suelos, las aguas superficiales o subterráneas y la flora, conforme a lo señalado en la Norma N·CSV·CAR·5·01·001, *Prácticas Ambientales durante la Conservación Rutinaria de las Obras*, y sujetándose en lo que corresponda, a las leyes y reglamentos de protección ecológica vigentes.

G.8. CONSERVACIÓN DE LOS TRABAJOS

Es responsabilidad del Contratista de Obra la conservación del sellado de grietas hasta que el trabajo haya sido recibido por la Secretaría, cuando la carretera sea operable.

H. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN O RECHAZO

Además de lo establecido anteriormente en esta Norma, para que el sellado de grietas se considere terminado y sea aceptado por la Secretaría, con base en el control de calidad que ejecute el Contratista de Obra, mismo que podrá ser verificado por la Secretaría cuando lo juzgue conveniente, se comprobará:

- H.1.** Que la calidad de los materiales empleados cumpla con las características establecidas como se indica en la Fracción D.1. de esta Norma.
- H.2.** Que el acabado final de la superficie de rodamiento no presente afloramiento del material asfáltico o del producto de sellado, o cualquier defecto que, a juicio de la Secretaría, afecte la calidad y buen comportamiento del pavimento.
- H.3.** Que la superficie del pavimento esté limpia y los excedentes del material o producto utilizado hayan sido retirados y depositados en el banco de desperdicios aprobado por la Secretaría.

I. MEDICIÓN

Cuando los trabajos de sellado de grietas aisladas se contraten a precios unitarios por unidad de obra terminada y sean ejecutados

NORMAS

N·CSV·CAR·2·02·002/00

conforme a lo indicado en esta Norma, a satisfacción de la Secretaría, se medirán según lo señalado en la Cláusula E. de la Norma N·LEG·3, *Ejecución de Obras*, para determinar el avance o la cantidad de trabajo realizado para efecto de pago, tomando como unidad el metro de grieta sellada para cualquier ancho y profundidad de grieta, y para cada tipo de material o producto para sellado utilizado, con aproximación a un décimo (0,1).

J. BASE DE PAGO

Cuando el sellado de grietas se contrate a precios unitarios por unidad de obra terminada y sea medido de acuerdo con lo indicado en la Cláusula I. de esta Norma, se pagará al precio fijado en el contrato para el metro de grieta sellada, según el tipo de material o producto utilizado. Estos precios unitarios, conforme a lo indicado en la Cláusula F. de la Norma N·LEG·3, *Ejecución de Obras*, incluyen lo que corresponda por:

- Valor de adquisición o producción de los materiales y productos para el sellado. Carga, transporte y descarga de los materiales y productos hasta el sitio de su utilización y cargo por almacenamiento.
- Limpieza de las caras interiores de la grieta.
- Suministro y utilización de agua.
- La aplicación de los materiales o los productos para el sellado.
- El equipo de alumbrado y su operación.
- Los tiempos de los vehículos empleados en los transportes de todos los materiales durante las cargas y las descargas.
- Y todo lo necesario para la correcta ejecución de este concepto.

K. ESTIMACIÓN Y PAGO

La estimación y pago del sellado de grietas, se efectuará de acuerdo con lo señalado en la Cláusula G. de la Norma N·LEG·3, *Ejecución de Obras*.

L. RECEPCIÓN DE LOS TRABAJOS

Una vez concluidos los trabajos de sellado de grietas, la Secretaría los aprobará y, cuando el tramo sea operable, los recibirá conforme a lo señalado en la Cláusula H. de la Norma N·LEG·3, *Ejecución de Obras*, aplicando en su caso, las sanciones a que se refiere la Cláusula I. de la misma Norma.

14-Jul-2005

Par: 01 análisis no. 10

Silvia Estela Franco Fuentes



Dependencia:

Concurso No. DDF/97-254

Obra:

Lugar: ESTUDIO ECONOMICO

ANALISIS DE PRECIOS

Código	Concepto	Unidad	Costo	cantidad	Importe	%
Análisis: ASFA001		Unidad: M2				
RIEGO DE LIGA EN CARPETAS AGRIETADAS PARA SU PREPARACION DE REENCARPETADO						
MATERIALES						
MA0001	CEMENTO ASFALTICO CON VISCOSIDAD DE 2000 POISES A 60°C	KG	\$2.25	0.800000	\$1.80	40.54%
MA0002	ADITIVO PARA AC-20 PARA TAPONAMIENTO DEGRIETAS AL3% DE SU PESO VOLUMETRICO.	LT	\$8.00	0.030000	\$0.24	5.41%
MA0003	FLETE DE AC-20	KG	\$0.45	0.800000	\$0.36	8.11%
Subtotal: MATERIALES					\$2.40	54.05%
EQUIPO Y HERRAMIENTA						
EQ0001	PETROLIZADORA PARA RIEGO DE LIGA CON EMULSION	HR	\$269.27	0.005000	\$1.35	30.41%
EQ0002	BARREDORA AUTOPROPULSADA	HR	\$137.04	0.005000	\$0.69	15.54%
Subtotal: EQUIPO Y HERRAMIENTA					\$2.04	45.95%
Costo directo					\$4.44	

(* CUATRO PESOS 44/100 M.N. *)

Cantidad utilizada de este concepto en el presupuesto 10000 Importe: 44400

14-Jul-2005

Par: 01 análisis no. 20

Silvia Estela Franco Fuentes



Dependencia:

Concurso No. DDF/97-254

Obra:

Lugar: ESTUDIO ECONOMICO

ANALISIS DE PRECIOS

Código	Concepto	Unidad	Costo	cantidad	Importe	%
Análisis: ASF001 Unidad: M³						
CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO CONVENCIONAL						
MATERIALES						
MA0001	CEMENTO ASFALTICO CON VISCOSIDAD DE 2000 POISES A 60°C	KG	\$2.25	132.000000	\$297.00	55.73%
MA0003	FLETE DE AC-20	KG	\$0.45	132.000000	\$59.40	11.15%
MA0004	EMULSION CATIONICA ROMPIMIENTO RAPIDO - 2K PARA RIEGO DE LIGA	LT	\$2.45	15.000000	\$36.75	6.90%
MA0005	FLETE DE EMULSION CATIONICA	LT	\$0.21	15.000000	\$3.15	0.59%
MA0008	GRAVA TRITURADA PARA CARPETA	M³	\$80.00	0.650000	\$52.00	9.76%
MA0009	ARENA PARA ASFALTO	M³	\$80.00	0.650000	\$52.00	9.76%
Subtotal: MATERIALES					\$500.30	93.87%
MANO DE OBRA						
BAS0002	CUADRILLA DE 4 PEONES, 2 RASTRILLEROS, 2 TORNILLEROS Y 1 SOBRESTANTE	JOR	\$1,160.00	0.014000	\$16.24	3.05%
Subtotal: MANO DE OBRA					\$16.24	3.05%
EQUIPO Y HERRAMIENTA						
EQ0002	BARREDORA AUTOPROPULSADA	HR	\$137.04	0.080000	\$10.96	2.06%
EQ0001	PETROLIZADORA PARA RIEGO DE LIGA CON EMULSION	HR	\$269.27	0.090000	\$24.23	4.55%
EQ0003	PLANTA DE ASFALTO	HR	\$929.35	0.030000	\$27.88	5.23%
EQ0004	PLANTA DE LUZ	HR	\$365.66	0.030000	\$10.97	2.06%
EQ0005	COMPACTADOR DOBLE RODILLO	HR	\$604.71	0.055000	\$33.26	6.24%
EQ0006	COMPACTADOR NEUMATICO	HR	\$598.26	0.055000	\$32.90	6.17%
EQ0007	FINISHER	HR	\$523.16	0.055000	\$28.77	5.40%
EQ0008	CAMION DE VOLTEO	HR	\$244.37	0.074500	\$18.21	3.42%
EQ0009	CARGADOR	HR	\$638.79	0.030000	\$19.16	3.60%
Subtotal: EQUIPO Y HERRAMIENTA					\$206.34	38.72%
Costo directo					\$532.96	

(* PESOS 00/100 M.N. *)

Cantidad utilizada de este concepto en el presupuesto 1 Importe: 0

14-Jul-2005

Par: 01 análisis no. 30

Silvia Estela Franco Fuentes

Sistemas de



Construcción

Dependencia:

Concurso No. DDF/97-254

Obra:

Lugar: ESTUDIO ECONOMICO

ANALISIS DE PRECIOS

Código	Concepto	Unidad	Costo	cantidad	Importe	%
--------	----------	--------	-------	----------	---------	---

Análisis: ASFA003 Unidad: M³

RIEGO DE SELLO CON MATERIAL 3A, A UNA PROPORCION DE 12 LT/M² Y RIEGO DE LIGA CON EMULSION ASFALTICA RR-2K A UNA PROPORCION DE 1.5 LT/M²

MATERIALES

MA0004	EMULSION CATIONICA ROMPIMIENTO RAPIDO - 2K PARA RIEGO DE LIGA	LT	\$2.45			
--------	---	----	--------	--	--	--

MA0005	FLETE DE EMULSION CATIONICA	LT	\$0.21			
--------	-----------------------------	----	--------	--	--	--

EQUIPO Y HERRAMIENTA

EQ0001	PETROLIZADORA PARA RIEGO DE LIGA CON EMULSION	HR	\$269.27			
--------	---	----	----------	--	--	--

EQ0006	COMPACTADOR NEUMATICO	HR	\$598.26			
--------	-----------------------	----	----------	--	--	--

Costo directo

(* PESOS 00/100 M.N. *)

Cantidad utilizada de este concepto en el presupuesto 1 Importe: 0

15-Jul-2005

Par: 01 análisis no. 20

Silvia Estela Franco Fuentes

Sistemas de



Construcción

Dependencia:

Concurso No. DDF/97-254

Obra:

Lugar:

ANALISIS DE PRECIOS

Código	Concepto	Unidad	Costo	cantidad	Importe	%
--------	----------	--------	-------	----------	---------	---

Análisis: ASF001 Unidad: M2

RIEGO DE LIGA ELABORADO CON ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMERO ELVALOY

EQUIPO Y HERRAMIENTA

EQ0001	PETROLIZADORA PARA RIEGO DE LIGA CON EMULSION	HR	\$331.20	0.005000	\$1.66	32.17%
EQ0002	BARREDORA AUTOPROPULSADA	HR	\$137.04	0.005000	\$0.69	13.37%
Subtotal: EQUIPO Y HERRAMIENTA					\$2.35	45.54%

BASICOS

BAS0003	ASFALTO MODIFICADO	KG	\$4.32	0.650000	\$2.81	54.46%
Subtotal: BASICOS					\$2.81	54.46%
Costo directo					\$5.16	

(* CUATRO PESOS 85/100 M. N. *)

Cantidad utilizada de este concepto en el presupuesto 1 Importe: 4.85

15-Jul-2005

Par: 01 análisis no. 10

Silvia Estela Franco Fuentes



Dependencia:

Concurso No. DDF/97-254

Obra:

Lugar:

ANALISIS DE PRECIOS

Código	Concepto	Unidad	Costo	cantidad	Importe	%
Análisis: ASFMOD		Unidad: M³				
CARPETA CON ASFALTO MODIFICADO						
MATERIALES						
MA0008	GRAVA TRITURADA PARA CARPETA	M³	\$80.00	0.600000	\$48.00	4.78%
MA0009	ARENA PARA ASFALTO	M³	\$80.00	0.600000	\$48.00	4.78%
MA0011	ACARREO DE MATERIAL 3A	M³	\$100.00	0.004000	\$0.40	0.04%
Subtotal: MATERIALES					\$96.40	9.60%
MANO DE OBRA						
BAS0002	CUADRILLA DE 4 PEONES, 2 RASTRILLEROS, 2 TORNILLEROS Y 1 SOBRESTANTE	JOR	\$1,680.00	0.028000	\$47.04	4.69%
Subtotal: MANO DE OBRA					\$47.04	4.69%
EQUIPO Y HERRAMIENTA						
EQ0001	PETROLIZADORA PARA RIEGO DE LIGA CON EMULSION	HR	\$331.20	0.100000	\$33.12	3.30%
EQ0002	BARREDORA AUTOPROPULSADA	HR	\$137.04	0.080000	\$10.96	1.09%
EQ0008	CAMION DE VOLTEO	HR	\$244.37	0.074500	\$18.21	1.81%
EQ0009	CARGADOR	HR	\$638.79	0.040000	\$25.55	2.54%
EQ0004	PLANTA DE LUZ	HR	\$365.66	0.040000	\$14.63	1.46%
EQ0005	COMPACTADOR DOBLE RODILLO	HR	\$604.71	0.180000	\$108.85	10.84%
EQ0007	FINISHER	HR	\$523.16	0.080000	\$41.85	4.17%
EQ0003	PLANTA DE ASFALTO	HR	\$929.35	0.040000	\$37.17	3.70%
Subtotal: EQUIPO Y HERRAMIENTA					\$290.34	28.92%
BASICOS						
BAS0003	ASFALTO MODIFICADO	KG	\$4.32	132.000000	\$570.24	56.80%
Subtotal: BASICOS					\$570.24	56.80%
Costo directo					\$1,004.02	
(* UN MIL CUATRO PESOS 22/100 M. N. *)						
Cantidad utilizada de este concepto en el presupuesto 500 Importe: 502110						

15-Jul-2005

Par: 01 análisis no. 30

Silvia Estela Franco Fuentes



Dependencia:

Concurso No. DDF/97-254

Obra:

Lugar:

ANALISIS DE PRECIOS

Código	Concepto	Unidad	Costo	cantidad	Importe	%
Análisis: ASFEL Unidad: M³						
SELLO ELABORADO CON ASFALTO MODIFICADO CON ELVALOY						
MATERIALES						
EQ0010	ESPARCIDOR DE SELLO	HR	\$466.13	0.040000	\$18.65	1.20%
MA0006	MATERIAL 3A PARA SELLO	M³	\$110.00	1.050000	\$115.50	7.44%
MA0011	ACARREO DE MATERIAL 3A	M³	\$100.00	1.050000	\$105.00	6.76%
Subtotal: MATERIALES					\$239.15	15.40%
MANO DE OBRA						
BAS0002	CUADRILLA DE 4 PEONES, 2 RASTRILLEROS, 2 TORNILLEROS Y 1 SOBRESTANTE	JOR	\$1,680.00	0.080000	\$134.40	8.65%
Subtotal: MANO DE OBRA					\$134.40	8.65%
EQUIPO Y HERRAMIENTA						
EQ0001	PETROLIZADORA PARA RIEGO DE LIGA CON EMULSION	HR	\$331.20	0.490000	\$162.29	10.45%
EQ0002	BARREDORA AUTOPROPULSADA	HR	\$137.04	0.200000	\$27.41	1.76%
EQ0006	COMPACTADOR NEUMATICO	HR	\$598.26	0.150000	\$89.74	5.78%
EQ0008	CAMION DE VOLTEO	HR	\$244.37	0.200000	\$48.87	3.15%
EQ0009	CARGADOR	HR	\$638.79	0.040000	\$25.55	1.64%
Subtotal: EQUIPO Y HERRAMIENTA					\$353.86	22.78%
BASICOS						
BAS0004	ASFALTO MODIFICADO CON ELVALOY	KG	\$4.31	191.600000	\$825.80	53.17%
Subtotal: BASICOS					\$825.80	53.17%
Costo directo					\$1,553.21	

(* UN MIL QUINIENTOS CINCUENTA Y TRES PESOS 21/100 M. N. *)

Cantidad utilizada de este concepto en el presupuesto 1 Importe: 1553.21

7-Nov-2005

Par: A01 análisis no. 10

Dependencia: NOMBRE DEPENDENCIA

Concurso No. DDF/97-254

Obra:

Lugar: VENUSTIANO CARRANZA No 8



ANALISIS DE PRECIOS

Código	Concepto	Unidad	Costo	cantidad	Importe	%
Análisis: ASF001		Unidad: M³				
SELLO AHULADO						
MATERIALES						
EQ0010	ESPARCIDOR DE SELLO	HR	\$466.13	0.040000	\$18.65	1.03%
MA0006	MATERIAL 3A PARA SELLO	M³	\$110.00	1.050000	\$115.50	6.41%
MA0011	MATERIAL SECANTE (ARENA)	M³	\$150.00	1.050000	\$157.50	8.74%
Subtotal: MATERIALES					\$291.65	16.18%
MANO DE OBRA						
BAS0002	CUADRILLA DE 4 PEONES, 2 RASTRILLEROS, 2 TORNILLEROS Y 1 SOBRESTANTE	JOR	\$1,680.00	0.080000	\$134.40	7.45%
Subtotal: MANO DE OBRA					\$134.40	7.45%
EQUIPO Y HERRAMIENTA						
EQ0002	BARREDORA AUTOPROPULSADA	HR	\$137.04	0.200000	\$27.41	1.52%
EQ0006	COMPACTADOR NEUMATICO	HR	\$598.26	0.150000	\$89.74	4.98%
EQ0008	CAMION DE VOLTEO	HR	\$244.37	0.200000	\$48.87	2.71%
EQ0009	CARGADOR	HR	\$638.79	0.040000	\$25.55	1.42%
EQ0001	PETROLIZADORA PARA RIEGO DE LIGA CON EMULSION	HR	\$331.20	0.750000	\$248.40	13.78%
Subtotal: EQUIPO Y HERRAMIENTA					\$439.97	24.40%
BASICOS						
BAS0003	ASFALTO AHULADO	KG	\$4.89	191.600000	\$936.92	51.97%
Subtotal: BASICOS					\$936.92	51.97%
Costo directo					\$1,802.94	

(* UN MIL OCHOCIENTOS DOS PESOS 94/100 M.N. *)

Cantidad utilizada de este concepto en el presupuesto 1 Importe: 1802.94

7-Nov-2005

Par: A01 análisis no. 20

Dependencia: NOMBRE DEPENDENCIA

Concurso No. DDF/97-254

Obra:

Lugar: VENUSTIANO CARRANZA No 8



ANALISIS DE PRECIOS

Código	Concepto	Unidad	Costo	cantidad	Importe	%
Análisis: AR02		Unidad: M³				
	CARPETA AHULADA					
MATERIALES						
MA0008	GRAVA TRITURADA PARA CARPETA	M³	\$80.00	0.600000	\$48.00	4.44%
MA0009	ARENA PARA ASFALTO	M³	\$80.00	0.600000	\$48.00	4.44%
MA0011	MATERIAL SECANTE (ARENA)	M³	\$150.00	0.004000	\$0.60	0.06%
	Subtotal: MATERIALES				\$96.60	8.94%
MANO DE OBRA						
BAS0002	CUADRILLA DE 4 PEONES, 2 RASTRILLEROS, 2 TORNILLEROS Y 1 SOBRESTANTE	JOR	\$1,680.00	0.028000	\$47.04	4.35%
	Subtotal: MANO DE OBRA				\$47.04	4.35%
EQUIPO Y HERRAMIENTA						
EQ0001	PETROLIZADORA PARA RIEGO DE LIGA CON EMULSION	HR	\$331.20	0.100000	\$33.12	3.06%
EQ0002	BARREDORA AUTOPROPULSADA	HR	\$137.04	0.080000	\$10.96	1.01%
EQ0008	CAMION DE VOLTEO	HR	\$244.37	0.074500	\$18.21	1.68%
EQ0009	CARGADOR	HR	\$638.79	0.040000	\$25.55	2.36%
EQ0004	PLANTA DE LUZ	HR	\$365.66	0.040000	\$14.63	1.35%
EQ0005	COMPACTADOR DOBLE RODILLO	HR	\$604.71	0.180000	\$108.85	10.07%
EQ0007	FINISHER	HR	\$523.16	0.080000	\$41.85	3.87%
EQ0003	PLANTA DE ASFALTO	HR	\$929.35	0.040000	\$37.17	3.44%
	Subtotal: EQUIPO Y HERRAMIENTA				\$290.34	26.86%
BASICOS						
BAS0004	ASFALTO AHULADO	KG	\$4.89	132.000000	\$645.48	59.72%
	Subtotal: BASICOS				\$645.48	59.72%
	Costo directo				\$1,080.78	
	(* UN MIL OCHENTA PESOS 78/100 M.N. *)					
	Cantidad utilizada de este concepto en el presupuesto 1 Importe: 1080.78					

GLOSARIO DE TÉRMINOS

A. S. T. M. – Iniciales en inglés de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.

AASHTO – Iniciales en inglés de la Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y Transporte.

A. C. – Siglas en inglés de cemento asfáltico.

Abrasión – Desgaste provocado por la acción de partículas de otros cuerpos.

Adherencia – Resistencia a la separación del asfalto en contacto con los agregados bajo el efecto de acciones exteriores.

Adhesión – Estado en el cual dos superficies se mantienen unidas por fuerzas interfaciales.

Aditivo – Sustancia que se adiciona a un material asfáltico o emulsión modificando su cualidad a fin de conferirle las características adecuadas para el objeto de su empleo.

Afinidad – Tendencia de la película asfáltica a fijarse sobre la superficie del agregado pétreo.

Agregado pétreo – Material granular duro, sano y resistente clasificado por su tamaño como la grava, arena y finos, obtenido de yacimientos naturales, por trituración de fragmentos de roca o como subproducto industrial.

Cohesividad – Capacidad de adherirse dos materiales entre sí. Capacidad aglomerante de la mezcla que le permite resistir los esfuerzos y efectos abrasivos y de succión originados por el tráfico.

Ductilidad – Habilidad de una sustancia de ser estirada o estrechada en forma delgada. Aún cuando la ductilidad se considera como una característica importante en el cemento asfáltico en muchas de sus aplicaciones, la presencia o ausencia de ductilidad es considerada más importante que el mismo grado de ductilidad.

Grietas – Roturas en la superficie de un pavimento asfáltico.

Hule – Polímero o goma elástica natural derivado del árbol del mismo nombre.

Hule asfalto – Mezcla de cemento asfáltico y hule molido recuperado de neumáticos y ciertos aditivos en donde el componente mínimo de hule es 15% en

peso del total de la mezcla ya reaccionado en el cemento asfáltico de manera suficiente de causar esponjamiento en las partículas de hule.

Método Marshall – Método de diseño para el proyecto y control de mezclas, elaboradas utilizando materiales pétreos con tamaño máximo de 25 mm y cemento asfáltico en caliente, asfaltos rebajados o emulsiones asfálticas.

P. G. – Performance grade. Por sus siglas en inglés de grado de comportamiento. Sistema de clasificación de los ligantes asfálticos. El PG califica al ligante asfáltico basándose en las temperaturas bajo las cuales se espera va a trabajar en la obra.

Penetración – Consistencia de un material asfáltico expresada en la distancia en décimas de milímetro (0.10 mm) de una aguja estándar introduciéndose en forma vertical en una muestra de material, en específicas condiciones de carga (peso) tiempo y temperatura.

Pirólisis – Consiste en la descomposición de la materia por la acción del calor (450°C) en ausencia de oxígeno.

Poise – Unidad de medida de viscosidad absoluta, correspondiente a la viscosidad de un fluido donde un esfuerzo de una dina por centímetro cuadrado requerido para mantener una diferencia de velocidad de un centímetro por segundo entre dos planos paralelos de fluido, orientados en la dirección del flujo y separados por una distancia de un centímetro.

Polímero – Compuesto químico, natural o sintético, formado por la unión de más de dos la unión de más de dos monómeros de un hidrocarburo.

Prueba de la película delgada – Prueba que consiste en colocar 50 centímetros cúbicos de asfalto en un molde cilíndrico de metal con fondo plano de 139.7 mm de diámetro inferior y 9.51 mm de altura. La capa de asfalto quedará aproximadamente de 3.2 mm de espesor. El recipiente contenido la muestra se coloca sobre una plataforma giratoria dentro de un horno ventilado especial TFO (por sus siglas en inglés horno de película delgada) y se mantiene ahí durante un lapso de 5 horas a la temperatura de 163°C. La plataforma debe girar a una velocidad de 5 a 6 rpm. Este proceso de preparación del espécimen del asfalto simula las condiciones que ocurren durante las operaciones de mezclado en caliente y puede emplearse para efectuar pruebas en asfaltos envejecidos.

Prueba de los Ángeles – Permite valuar la dureza, friabilidad y resistencia al desgaste del material pétreo.

Punto de inflamación Cleveland – Temperatura a la que se presenta la ignición (estado de combustión) del asfalto.

Punto de reblandecimiento – Temperatura a la cual el asfalto ya no resiste la carga de un balín y por lo tanto pierde su resistencia a las roderas.

Recuperación elástica por ductilómetro – Muestra si el material asfáltico modificado recobrará elásticamente su forma o será deformado permanentemente.

Reflexión de grietas – Grietas en las sobrecapas que reflejan las trayectorias de las grietas o juntas existentes en la estructura del pavimento subyacente. Son causadas por movimientos verticales u horizontales del pavimento subyacente, los cuales se deben a expansiones y contracciones por temperaturas o cambios de humedad.

Resiliencia – Mide la recuperación que manifiesta el asfalto ante la suspensión de una presión que la deformó.

Riego de liga – Aplicación de material asfáltico en una superficie existente no absorbente prevé una liga minuciosa entre la antigua y la nueva superficie.

Roderas – Surcos que pueden desarrollarse sobre un pavimento en los carriles de las ruedas. Pueden ser el resultado de una consolidación o movimiento lateral de una o más capas del pavimento bajo efectos de tránsito, o pueden ser generadas por un desplazamiento de la superficie misma del pavimento.

Viscosidad – Medida de resistencia de un líquido a fluir. Método usado para medir la consistencia del asfalto.