

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE EMULSIÓN ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMEROS, UTILIZADA COMO RIEGO DE LIGA ENTRE CONCRETO HIDRÁULICO Y MEZCLA ASFÁLTICA, MEDIANTE EL ENSAYO DE CORTE DIRECTO LCB.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL

PRESENTA:
IRVING DARINEL FABELA LÓPEZ

ASESOR:
DR. JORGE ALARCÓN IBARRA

MORELIA MICHOACÁN, FEBRERO DE 2009

ÍNDICE GENERAL

Agradecimientos

Lista de tablas

Lista de figuras

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS 1

Capítulo 1

PAVIMENTOS PARA CARRETERAS

1.1	Introducción	4
1.2	Pavimento Flexible para Carreteras	7
1.3	Pavimento Rígido para Carreteras	13
1.4	Estructuras Especiales	19

Capítulo 2

CONCRETO HIDRÁULICO

2.1	Introducción	25
2.2	Cemento Portland	27
2.3	Agregados Pétreos para Concreto Hidráulico	29

Capítulo 3

MEZCLAS ASFÁLTICAS

3.1	Introducción	30
3.2	Asfaltos	31
3.3	Materiales Pétreos	35
3.4	Clasificación de las Mezclas Asfálticas	39
3.5	Diseño de Mezclas Asfálticas	49
3.6	Adherencia de Concreto Hidráulico con Mezcla Asfáltica	63

Capítulo 4

RIEGO DE LIGA

4.1	Introducción	64
4.2	Normativa Española	66
4.3	Norma Mexicana N·CTR·CAR·1·04·005/00	71
4.4	Observaciones a la Normativa Mexicana	79

Capítulo 5

EMULSIONES ASFÁLTICAS

5.1	Introducción	80
5.2	Clasificación de las Emulsiones Asfálticas	82
5.3	Composición de las Emulsiones Asfálticas	84
5.4	Producción de las Emulsiones Asfálticas	85
5.5	Requisitos de las Emulsiones Asfálticas	87
5.6	Pruebas que se realizan a las Emulsiones Asfálticas	89
5.7	Uso de las Emulsiones Asfálticas	93
5.8	Emulsiones Asfálticas Modificadas	94
5.9	Ventajas de las Emulsiones Asfálticas Modificadas	99

Capítulo 6**FASE EXPERIMENTAL EN LABORATORIO**

6.1	Introducción	100
6.2	Estudio de Laboratorio	101
6.3	Resultados	109

Capítulo 7

CONCLUSIONES	114
---------------------	-----

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	116
-----------------------------------	-----

ANEXOS FOTOGRÁFICOS	120
----------------------------	-----

AGRADECIMIENTOS

Antes que nada quiero darle gracias a Dios por permitirme la satisfacción de concluir esta etapa de mi vida.

Después de Él, agradezco a mi padre por ser mi amigo y mi guía, a mi madre por ser mi soporte y mi fuerza.

A mis hermanos: Juan Luís por luchar a diario junto a mí, Tzitziqui por darme la oportunidad de aprender a compartir penas y alegrías con ella, José Luís por motivarme a ser mejor, Omar por contagiarme de su alegría, Eduardo por mostrarme que la templanza de carácter no es cuestión de edad, y a Dana por la ternura y cariño que a traído a mi existencia.

A Mary por su paciencia, apoyo incondicional y por el amor que me ha brindado durante todos estos años.

Al doctor Jorge Alarcón Ibarra por asesorarme en el desarrollo de este documento, además de brindarme su conocimiento y paciencia.

A mis amigos: Vicente con quien estamos cumpliendo sueños que planteamos desde niños, Eliseo por transmitirme parte de su fuerza interna, además del aprendizaje que ha compartido conmigo. A mi compadre Raúl, quien me honró al darme a su hijo a bautizar además de su sincera amistad.

A la familia Fabela Sixtos por todo el apoyo, confianza y ánimos que me han brindado.

A la familia López Celso por las enseñanzas y el cariño con el que me tratan.

A todos mis excompañeros de la facultad, en especial a Obiel González, Miguel Almanza, Mauricio Estrada, Uriel Muñoz, Ricardo Vargas Escoto, Carlos Vélez y Granados, Xochitl Peñalosa, Consuelo Roque, Miguel Mendoza, Fernando González

A todos los profesores de la Facultad de Ingeniería Civil, que lograron despertar en mí un genuino interés en desarrollar esta actividad, tan importante para el crecimiento ordenado de los pueblos.

Finalmente a mis compañeros de trabajo: Claudia Ayala, Limbert y Delia Cortes Bautista, a quienes aprecio sinceramente y les agradezco todo el apoyo que me han dado.

LISTA DE TABLAS

CAPÍTULO 1

TABLA 1.1	CLASIFICACIÓN DE LOS PUENTES DE ACUERDO A SU CLARO.	21
-----------	---	----

CAPÍTULO 3

TABLA 3.1	CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES ASFÁLTICOS	32
TABLA 3.2	CLASIFICACIÓN DE LOS CEMENTOS ASFÁLTICOS SEGÚN SU VISCOSIDAD DINÁMICA A 60°C	33
TABLA 3.3	REQUISITOS DE GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL PÉTREO PARA CARPETAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA Densa (ÚNICAMENTE PARA $\sum L \leq 10^6$)	40
TABLA 3.4	REQUISITOS DE CALIDAD DEL MATERIAL PÉTREO PARA CARPETAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA Densa (ÚNICAMENTE PARA $\sum L \leq 10^6$)	41
TABLA 3.5	REQUISITOS DE GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL PÉTREO PARA CARPETAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA Densa (PARA CUALQUIER VALOR DE $\sum L$)	42
TABLA 3.6	REQUISITOS DE CALIDAD DEL MATERIAL PÉTREO PARA CARPETAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA Densa (PARA $\sum L > 10^6$)	42
TABLA 3.7	REQUISITOS DE GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL PÉTREO PARA CARPETAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA ABIERTA	44
TABLA 3.8	REQUISITOS DE CALIDAD DEL MATERIAL PÉTREO PARA CARPETAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA ABIERTA	44
TABLA 3.9	REQUISITOS DE GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL PÉTREO PARA CARPETAS POR SISTEMAS DE RIEGOS	45
TABLA 3.10	REQUISITOS DE CALIDAD DEL MATERIAL PÉTREO PARA CARPETAS POR SISTEMAS DE RIEGOS	46
TABLA 3.11	REQUISITOS DE GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL PÉTREO PARA CARPETAS DE MORTERO ASFÁLTICO	48
TABLA 3.12	REQUISITOS DE CALIDAD DEL MATERIAL PÉTREO PARA CARPETAS DE MORTERO ASFÁLTICO FUENTE <NORMA N-CMT-4-04-03, SCT>	48

CAPÍTULO 5

TABLA 5.1	CLASIFICACIÓN DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS CON RESPECTO A SU CONTENIDO DE CEMENTO ASFÁLTICO Y SU TIPO DE POLARIDAD	83
-----------	--	----

TABLA 5.2	REQUISITOS DE CALIDAD PARA EMULSIONES ASFÁLTICAS ANIÓNICAS	87
TABLA 5.3	REQUISITOS DE CALIDAD PARA EMULSIONES ASFÁLTICAS CATIONICAS	88
TABLA 5.4	CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD QUE SE REVISARÁN EN LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS DURANTE LA EJECUCIÓN DE LA OBRA	92
TABLA 5.5	CLASIFICACIÓN DE LOS POLÍMEROS QUE SE UTILIZAN PARA LA MODIFICACIÓN DE ASFALTOS	95
TABLA 5.6	REQUISITOS DE CALIDAD PARA EMULSIÓN ASFÁLTICA MODIFICADA, ELABORADA CON ASFALTO AC-5 Y MODIFICADA CON POLÍMEROS TIPO I Y III	97

CAPÍTULO 6

TABLA 6.1	PROBETAS ENSAYADAS CON AC-20 CONVENCIONAL	102
TABLA 6.2	PROBETAS ENSAYADAS CON AC-20 MODIFICADO	103
TABLA 6.3	VALORES GRANULOMÉTRICOS CONSIDERADOS EN EL ESTUDIO	106
TABLA 6.4	RESULTADOS DE LA EMULSIÓN ANIÓNICA CONVENCIONAL	109
TABLA 6.5	RESULTADOS DE LA EMULSIÓN ANIÓNICA CON POLÍMEROS	109

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

FIGURA 1.1	SECCIÓN ESTRUCTURAL DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE	10
FIGURA 1.2	SECCIÓN ESTRUCTURAL DE UN PAVIMENTO RÍGIDO	14
FIGURA 1.3	PROCESO DE EXCAVACIÓN, VOLADURA Y SUJECIÓN DE UN TÚNEL	19
FIGURA 1.4	ELEMENTOS QUE FORMAN LA SUPERESTRUCTURA Y LA SUBESTRUCTURA DE UN PUENTE	20
FIGURA 1.5	CORTE TRANSVERSAL DE LA ESTRUCTURA DE UN PUENTE DE CONCRETO HIDRÁULICO CUYA SUPERFICIE DE RODAMIENTO ES CARPETA ASFÁLTICA	21
FIGURA 1.6	PUENTES SIMPLEMENTE APOYADOS, CONTINUOS Y TIPO GERBER	23

CAPÍTULO 3

FIGURA 3.1	REGIONES GEOGRÁFICAS PARA LA UTILIZACIÓN DE ASFALTOS, CLASIFICADOS SEGÚN SU VISCOSIDAD DINÁMICA A 60 ^º	34
FIGURA 3.2	CLASIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS	39

CAPÍTULO 4

FIGURA 4.1	APLICACIÓN DEL MATERIAL ASFÁLTICO	76
------------	-----------------------------------	----

CAPÍTULO 5

FIGURA 5.1	ESQUEMA DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA	80
FIGURA 5.2	MOLINO COLOIDAL	85

CAPÍTULO 6

FIGURA 6.1	ENSAYO DE CORTE DIRECTO LCB Y ESQUEMA DE FUERZAS QUE ACTÚAN EN EL SISTEMA	101
FIGURA 6.2	MOLDES DE ACERO PARA ENSAYOS DE CORTE DIRECTO LCB	104
FIGURA 6.3	PROBETA FUERA DEL MOLDE DE ACERO Y PROBETA LISTA PARA SER ENSAYADA	106
FIGURA 6.4	PROBETAS EN SECO Y TRAS INMERSIÓN, RESPECTIVAMENTE	107
FIGURA 6.5	PRENSA DIGITAL PARA ENSAYO DE CORTE DIRECTO LCB Y PROBETAS LISTAS PARA ENSAYARSE	108
FIGURA 6.6	ENSAYO LCB TRAS INMERSIÓN CON SUPERFICIE LISA Y SUPERFICIE RUGOSA	110
FIGURA 6.7	ENSAYO LCB EN SECO CON SUPERFICIE LISA Y SUPERFICIE RUGOSA	111
FIGURA 6.8	ENSAYO LCB EN AC-20 CONVENCIONAL, TRAS INMERSIÓN Y EN SECO	112
FIGURA 6.9	ENSAYO LCB EN AC-20 MODIFICADO, TRAS INMERSIÓN Y EN SECO	113

INTRODUCCIÓN

Desde épocas remotas los caminos han tenido relevancia directa en el desarrollo de los pueblos. A través de ellos se ha hecho llegar todo tipo de actividad humana; desde el arte, cultura, desarrollo, hasta la guerra. Irónicamente es por la guerra que se ha desarrollado la mayor parte de la tecnología. Así pues, acorde a los tiempos y al desarrollo tecnológico ha evolucionado la industria de transporte terrestre, por lo cual ha sido necesario adecuar los caminos a los requerimientos actuales.

Los caminos han evolucionado de ser terracerías con superficie arcillosa; o en el mejor de los casos con ladrillos y piedras, hasta convertirse en autopistas de alta velocidad, con un trazo geométrico bien definido. Empleando calidades y espesores de materiales para un diseño específico basado en estudios previos a su construcción.

Una estructura de pavimentación es un corte en la sección transversal de los caminos. Está constituida por diferentes capas de material, la función de estas capas es transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito vehicular que actúa sobre ellas a las capas inferiores, sin llegar a deformarse, evitando así una falla en la superficie de rodamiento. Generalmente la estructura de pavimentación está conformada con características similares tanto para pavimentos rígidos como para pavimentos flexibles, la principal variante consiste en la superficie de rodamiento, ya que se emplea en su elaboración concreto hidráulico y mezcla asfáltica respectivamente.

Para que trabaje adecuadamente la estructura del pavimento, es necesario un tratamiento específico para cada una de las capas, sin embargo existe una limitante en el momento de comprobar que la unión entre dichas capas sea la adecuada; sobre todo entre la base hidráulica y la superficie de rodamiento, misma que puede ser de mezcla asfáltica o concreto hidráulico, existiendo una mayor incertidumbre cuando un camino es inicialmente construido utilizando concreto hidráulico y posteriormente es recubierto con carpeta asfáltica, de manera análoga está el caso de los puentes, que en nuestro país son

generalmente contruidos a base de concreto hidráulico y recubiertos con una mezcla asfáltica.

Es por ello que se desarrolla este trabajo, ante la necesidad de obtener parámetros que nos permitan determinar la resistencia que presentan las emulsiones asfálticas usadas como riego de liga. Simultáneamente se analizará el comportamiento de una emulsión asfáltica modificada químicamente con polímeros, para de esta manera comprobar que tan favorable es el uso de éstos en el aumento de las propiedades de adherencia del ligante.

Otro de los objetivos de ésta tesis es proporcionar fundamentos técnicos para la creación de una normativa específica respecto a los riegos de liga, así como al uso de productos comerciales como los polímeros, para modificar a las emulsiones asfálticas, ya que actualmente no existe un parámetro bien definido por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes acerca de ello.

Para lograr lo planteado previamente, nos basaremos en investigaciones realizadas con anterioridad en la Universidad Politécnica de Cataluña, España, específicamente a lo referente al ``*Ensayo de Corte Directo LCB*`` el cual nos permite medir la capacidad que tiene una emulsión asfáltica para unir una capa de mezcla asfáltica con una estructura de concreto hidráulico o asfáltico mediante la aplicación de un esfuerzo cortante. Esta prueba se realizará con ayuda de la prensa Marshall, la cual arrojará resultados precisos acerca de los parámetros a evaluar, que en éste caso son la carga y el desplazamiento inducido a corazones de concreto hidráulico con $f'c = 450 \text{ kg/cm}^2$ extraídos del 2do piso del periférico del Distrito Federal, y a pastillas de mezcla asfáltica unidas por medio de un riego de liga. Cabe mencionar que toda la instrumentación requerida para esta investigación fue proporcionada por la UMSNH "Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo", a través de la Facultad de Ingeniería Civil, y apoyada por el laboratorio de materiales perteneciente a la misma.

OBJETIVO GENERAL

Medir la capacidad con la que cuenta la emulsión asfáltica AC-20 en estado convencional y después de ser modificada con polímeros, para unir una superficie elaborada a base de concreto hidráulico con una capa de mezcla asfáltica. La aplicación del esfuerzo cortante será de acuerdo con el Ensayo de Corte Directo LCB, desarrollado en la Universidad Politécnica de Cataluña, España.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conocer parte de la normativa SCT, referente a caminos para carreteras, así como las calidades, materiales y procedimientos para su elaboración.
- Definir las características específicas con que deben contar los pavimentos rígidos y flexibles.
- Ampliar el conocimiento acerca del asfalto, en el caso específico de las mezclas que se elaboran a partir de este, en combinación con agregados pétreos en distintas calidades y en proporciones variables.
- Elaborar una descripción sencilla acerca de las emulsiones asfálticas, para por medio de ello saber cómo están constituidas, como se elaboran, para que nos sirvan y en el mejor de los casos saber si modificando su estructuración básica pueden ser más útiles.
- Ubicar la capa de riego de liga en la estructura de pavimentación, además de conocer el método y equipo para su aplicación.
- Establecer un parámetro de comparación entre la Normativa Española y la Normativa Mexicana en cuanto a la técnica de aplicación del riego de liga.
- Determinar la manera en la que se ve afectada la adherencia entre concreto hidráulico y mezcla asfáltica por factores externos como son la rugosidad superficial y la presencia del agua, todo esto empleando el Ensayo de Corte Directo LCB.

CAPÍTULO 1

PAVIMENTOS PARA CARRETERAS

1.1 INTRODUCCIÓN

La carretera más antigua y la de más larga distancia en la historia fue la “Carretera Real Persa”, que dió servicio en el periodo de los años 3500 al 300 a. de C., empezaba en Susa, cerca del Golfo Pérsico y terminaba en Esmirna, la distancia era de 2,957 Km. y se tardaban 93 días en recorrerla.

Otras más modernas que la anterior existieron entre los años 700 al 600 a. C., que unían palacios y templos en la ciudad de Azur, Babilonia, el pavimento de ésta estaba construido con ladrillo cocido y piedras unidos con un producto asfáltico.

En China las principales carreteras eran amplias, bien construidas y cubiertas con piedras, la longitud de la red de carreteras era de 3,200 Km., comunicando las ciudades de Sianfu, Nanking y Cheng-tu.

En la India en las ciudades de Beluchistán y en Punjab entre el periodo de 3, 250 y 2,750 a. de C. estaban pavimentadas las calles con ladrillos cocidos unidos con una emulsión asfáltica, además dedicaban un cuidado especial a la evacuación del agua.

En las técnicas de construcción de pavimentos en el año 75 a. de C., utilizaban el pavimento de ladrillo enlosado de piedra, un tipo de concreto como capa de base o superficial, y los principios de relleno de hendiduras con yeso, cal o asfalto.

En Europa entre los años 1900 y 300 a. de C., en las Rutas de Ámbar existen evidencias de que se construían caminos principalmente en el norte de Europa caminos formados de troncos para poder conducir el tráfico por zonas pantanosas o muy húmedas, se construían extendiendo dos o tres filas de troncos en el sentido de la marcha sobre un lecho de ramas finas y gruesas en una anchura de 6 m, y cubriéndolas con troncos transversales de 2.7 y 3.6 m extendidos de lado a lado, en las de más calidad con estaquillas cada 5 ó 6 troncos.

El más antiguo de este tipo de caminos se construyó antes del año 1500 a. de C., estas vías eran cubiertas con arena, grava o césped, los romanos usaron además de esto unas zanjas laterales para reducir el contenido de humedad y aumentar la capacidad de carga de la estructura de sus pavimentos.

Una de las rutas más importantes fue la “Ruta de la Seda”, estuvo funcionando por 1,400 años, fue construida por mandato de Marco Polo para realizar sus viajes, su conexión con la red de calzadas romanas dio lugar a la ruta más larga del mundo durante más de 2,000 años, empezaba en Cádiz en el Atlántico y terminaba en Shangai en el Pacífico, con una longitud de 12,800 km de carretera.

En la Isla de Malta entre los años 2000 y 2500 a. de C. se construyeron carreteras de un solo carril formadas por dos acanaladuras en V cortadas en la arenisca de coral de

la Isla, éstas carreteras eran recorridas por los carros con las ruedas introducidas dentro de las muescas y arrastrados por los hombres.

Existen algunos restos de carreteras en la Isla de Creta de la civilización minoica que datan entre los años 3000 a 1100 a. de C., la más importante es la que iba de Gortyna en la zona montañosa del sur de la isla hasta Knossos en la Costa Norte.

El pavimento era de 3.6 m de ancho y la parte central estaba formada por dos filas de placas de basaltos con un espesor de 5 cm, en el centro de la carretera se usaba para el tráfico a pie y los bordes para el tráfico de animales y carros piedras unidas con arcillas y limos, construyeron un perfil transversal inclinado y cunetas laterales de desagüe.

Los incas desconocían el uso de la rueda, pero construyeron dos caminos que iban desde Quito en Ecuador al sur de Cuzco en Perú, su uso era para peatones y animales de carga, uno de ellos seguía las costa con 3,600 km y el otro de 2,640 km que iba por la cordillera de los Andes, este último tiene 7.5 m de ancho y atraviesa las montañas más altas con pendientes muy suaves mediante trazado en zigzag, este cuenta con cortes en rocas sólidas con muros de contención construidos en centenares de metros para sostenerlo, los anchos valles se cruzaban mediante puentes colgantes sustentados por cuerdas de lana y fibra, la superficie de la calzada era de piedra en la mayor parte del trazado y se usó el asfalto, en rampas escarpadas se construyeron escalones tallados en roca , esta vialidad es lo más cercano a lo que hoy se conoce como carretera en cuanto a estructura del pavimento y trazo.

Los primeros pavimentos modernos en la historia de la civilización fueron los construidos por los romanos cuyas técnicas fueron empleadas hasta el siglo XVIII en que Gautier y Tresaguet en Francia introducen variaciones. En el siglo XIX los escoceses Telford y McAdam continúan revolucionando las técnicas de construcción de carreteras. Se puede decir que los cuatro hombres mencionados pueden ser considerados como los padres de las técnicas modernas en la construcción de pavimentos.

1.2 PAVIMENTO FLEXIBLE PARA CARRETERAS

El pavimento flexible es un conjunto de capas elaboradas con materiales pétreos, bituminosos y en ocasiones mezclas con cemento ó algún otro material ligante, acomodados en forma vertical, con distintos espesores y calidades, tratados y seleccionados de acuerdo a los requerimientos de la zona en la que se aplicarán. Estas capas son: la superficie de rodamiento, la base y la sub-base. Todas ubicadas directamente sobre la Sub-rasante o terreno natural; mismo que puede definirse como terracería a partir de la determinación que sea transitable y que constituya un terreno de soporte adecuado para recibir las cargas generadas por el tránsito vehicular.

El pavimento flexible debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Proporcionar estabilidad para resistir los agentes del intemperismo.
- Tener la resistencia adecuada para soportar las cargas del tránsito.
- Proporcionar una adecuada textura en la superficie de rodamiento.
- Debe ser durable.
- Proporcionar condiciones adecuadas en cuanto a permeabilidad.
- Debe ser económico.

En lenguaje llano se puede decir que los pavimentos flexibles tienen al menos una capa que está compuesta de dos materiales: asfalto y agregados pétreos. El asfalto a su vez puede estar modificado y los agregados pétreos varían en proporción y granulometría de acuerdo al tipo de carpeta asfáltica que se pretenda elaborar.

A su vez las carpetas asfálticas se clasifican de acuerdo a sus condiciones de elaboración en carpetas asfálticas con mezcla en caliente y carpetas asfálticas con mezcla en frío. Siendo empleado el calor como vehículo de incorporación en las primeras, y el uso de solventes o la suspensión de las partículas de asfalto, mejor conocido como emulsión en el caso de las segundas.

De acuerdo a su granulometría las carpetas asfálticas con Mezcla en caliente pueden ser de granulometría densa, semiabierta o abierta.

Las carpetas asfálticas con Mezcla en frío, en función a su composición granulométrica pueden ser carpetas de mezcla asfáltica densa y carpetas de mortero asfáltico. En capítulos posteriores se dará una descripción detallada de las carpetas asfálticas.

ESTRUCTURACIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

CARPETA

La carpeta es la parte superficial del cuerpo de un Pavimento Flexible, se elabora a base de materiales pétreos y un producto asfáltico. Sus principales funciones son:

- Dar una superficie de rodamiento adecuada para el tránsito de vehículos.
- Evitar que el agua se introduzca al cuerpo del pavimento.
- Dar una textura adecuada para que exista más fricción entre los neumáticos y el pavimento.
- Proporcionar confort y seguridad al usuario al transitarla.
- Evitar el derrapamiento de vehículos sobre ésta al encontrarse bien drenada.
- En el caso de contar con un espesor mayor o igual 4 cm. Tiene la función estructural de soportar y distribuir la carga inducida por los vehículos hacia las capas inferiores del pavimento flexible.

CAPA DE BASE

Es la capa que se ubica debajo de la carpeta del pavimento y sobre la Sub-base, está elaborada de materiales de piedra triturada, o grava triturada o sin triturar y arena, los materiales pueden ser tratados o sin tratar con aglomerantes estabilizadores como el cemento Pórtland, asfalto o cal, esta capa es de materiales de mejor calidad en cuanto a resistencia, estabilidad, dureza tipo de agregado y graduación, que la Sub-base, ya que sobre ella se reciben directamente los esfuerzos que transmite la carpeta asfáltica. Sus principales funciones son:

- Distribuir y repartir de forma disipada los esfuerzos creados por las cargas a las otras capas.
- Debe proporcionar impermeabilidad
- Debe ser muy estable
- Debe ser resistente

CAPA DE SUB-BASE

Es la capa que se encuentra ubicada sobre la Sub-rasante y por debajo de la capa de Base, se elabora con materiales granulares de determinada calidad y características, que pueden estar tratados o no, debidamente compactados.

Ésta capa se usa para aumentar económicamente la resistencia del pavimento, en ciertos casos puede omitirse, como cuando la capa en el diseño nos da un espesor demasiado delgado o cuando el material de la subrasante es de alta calidad. Las principales funciones de esta capa son:

- Evitar la intrusión de los suelos finos de las capas de la terracería dentro de la capa de base.
- Minimizar los esfuerzos que llegarán a las terracerías.
- Ayuda a evitar la acumulación de agua libre debajo de la estructura del pavimento.

TERRACERÍA

La terracería es una parte fundamental del pavimento flexible. Se encuentra conformada por capas de materiales como son: suelos naturales y fragmentos de rocas, producto del corte en el mismo tramo del camino ó por la extracción directa de bancos de materiales, mismos que pueden estar cribados o simplemente seleccionados.

Las capas que componen a la terracería son el Terraplén, la capa Subyacente y por último la capa Subrasante.

El Terraplén tiene la función de dar el nivel topográfico sobre el cual se desplantará la capa Subyacente, en caso de que ésta sea necesaria, de lo contrario servirá como soporte para la capa Subrasante.

En resumen podemos decir que la principal función de la Terracería es dar la altura necesaria para satisfacer principalmente las especificaciones geométricas del camino.

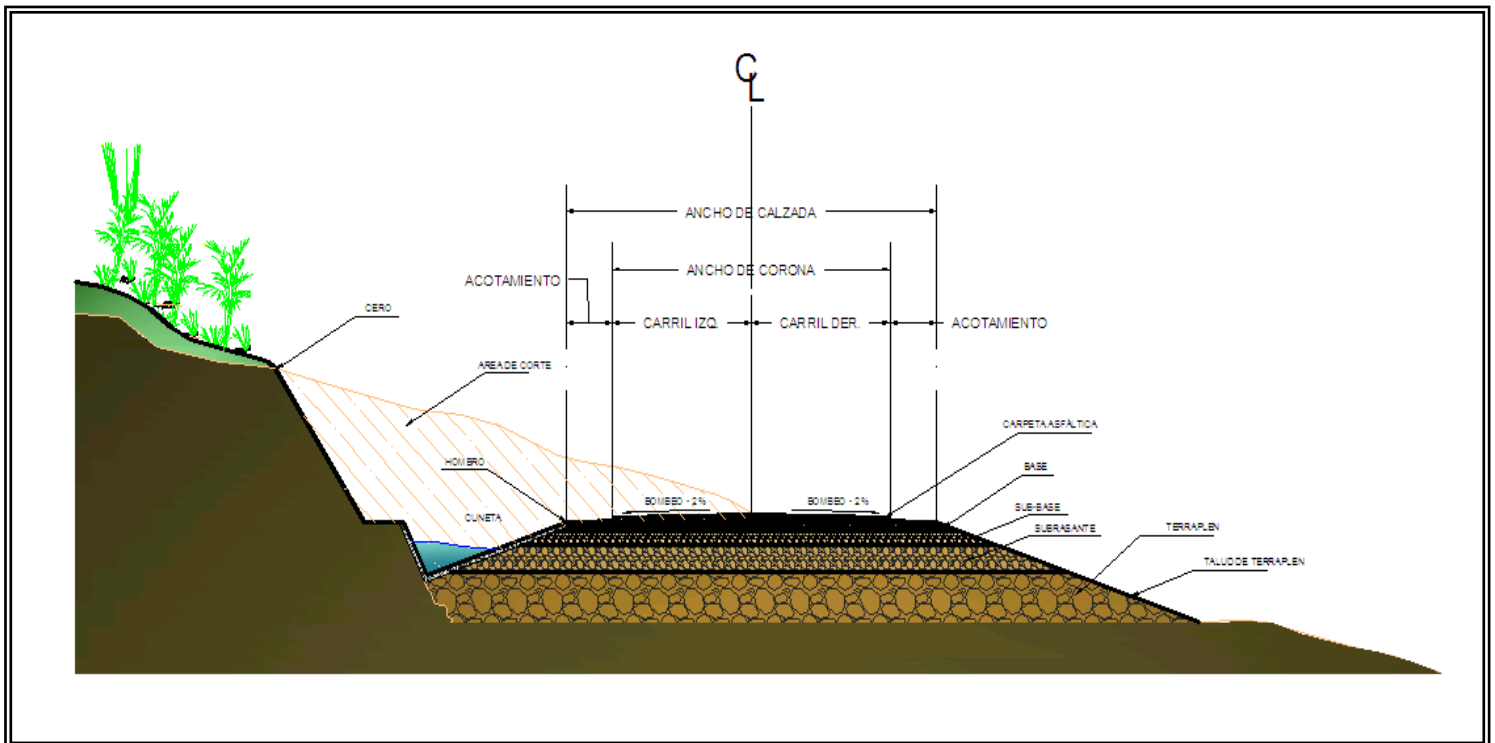


FIGURA 1.1
SECCIÓN ESTRUCTURAL DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE

VENTAJAS Y DEVENTAJAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

VENTAJAS:

- Resulta más económico en su construcción inicial.
- Tiene un periodo de vida que se puede prolongar por medio de mantenimiento rutinario adecuado.
- Visualmente es más cómodo ya que refleja en menor cantidad la luminosidad de los rayos solares.
- Es confortable al conducir sobre este en tramos largos debido a que tiene pocas juntas constructivas.
- Se aprecian mejor los señalamientos durante el día y la noche.
- Si el diseño del pavimento fue adecuado, los mantenimientos serán relativamente económicos.
- El pavimento flexible es reciclable.
- Es posible colocar reencarpetamiento sobre pavimentos rígidos.

DESVENTAJAS:

- Requiere mantenimiento constante para cumplir con su vida útil.
- Las cargas pesadas producen roderas y dislocamientos en el pavimento, que pueden ser un peligro potencial para los usuarios. Esto constituye un serio problema en

intersecciones, casetas de cobro de cuotas de peaje, rampas, donde el tráfico vehicular está constantemente frenando y arrancando.

- La reflexión de grietas es otra forma de falla de sobrecarpetas de asfalto, que puede reducir apreciablemente la vida útil esperada.
- El pavimento flexible sub-diseñado se deteriora antes de poder colocar el primer reencarpetao proyectado. Se ha demostrado que en las sobrecarpetas más gruesas, se forman más roderas que en recubrimientos delgados.
- En presencia de un nivel freático alto y/o de suelos débiles subyaciendo a un pavimento flexible que ha fallado, es probable que necesite reestructurarse desde la terracería.

1.3 PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA CARRETERAS

INTRODUCCIÓN

Se puede definir a los pavimentos de concreto hidráulico como un conjunto de estructuras rígidas, las cuales distribuyen la carga de tránsito en menor cantidad sobre una estructura de pavimentación.

En el año de 1891 se elaboró el primer tramo de pavimento a base de concreto hidráulico, el cual contaba con una sección de 2.44 m de ancho. Esta pavimentación se llevó a cabo en la ciudad de Bellefontaine, perteneciente a Ohio, en Estados Unidos de Norte América. Posteriormente se continuó con el uso de este material, pero no fue sino hasta el año de 1913 cuando se construyó el primer camino totalmente de concreto hidráulico. Esta vialidad contó con una longitud de 36.8 km y un ancho de 2.74 m, además de un espesor de 12.7 cm. Este logro se realizó en Arkansas USA. La velocidad máxima a la que podían circular los vehículos era a 72 km/hr.

Inicialmente las pavimentaciones hidráulicas se construyeron directamente sobre el terreno natural, después de haber realizado el despalme y la nivelación. Esta estructura fue suficiente hasta finales de los años 30's. sin embargo, esta condición cambio drásticamente debido al incremento del flujo vehicular sobre los caminos, lo cual dio como resultado la necesidad de instalar Sub-bases previas al colado de losas. Estas sub-bases se construyeron con grava, piedra triturada y escoria volcánica hasta finales de 1940.

A medida de que pasó el tiempo y ante la necesidad de construir nuevos caminos y reconstruir algunos, los ingenieros en caminos se dieron a la tarea de realizar investigaciones, siendo el resultado final la construcción de la pista de pruebas en Ottawa, Illinois de la cual se obtuvieron resultados que relacionaban el comportamiento estructural del pavimento compuesto por capas de espesores determinados, bajo cargas de magnitudes y frecuencias conocidas, en entornos monitoreados.

ESTRUCTURACIÓN DEL PAVIMENTO RÍGIDO

Este tipo de pavimentos se conforman de la siguiente manera: la losa de concreto se apoya directamente sobre una capa denominada Base, misma que está constituida por distintas calidades de agregados pétreos; y en algunos casos con material cementante, en proporciones variables de acuerdo a las características propias de éstos, de tal manera que al revolverlos y compactarlos formen una capa lo suficientemente estable para soportar los esfuerzos transmitidos por la losa de concreto.

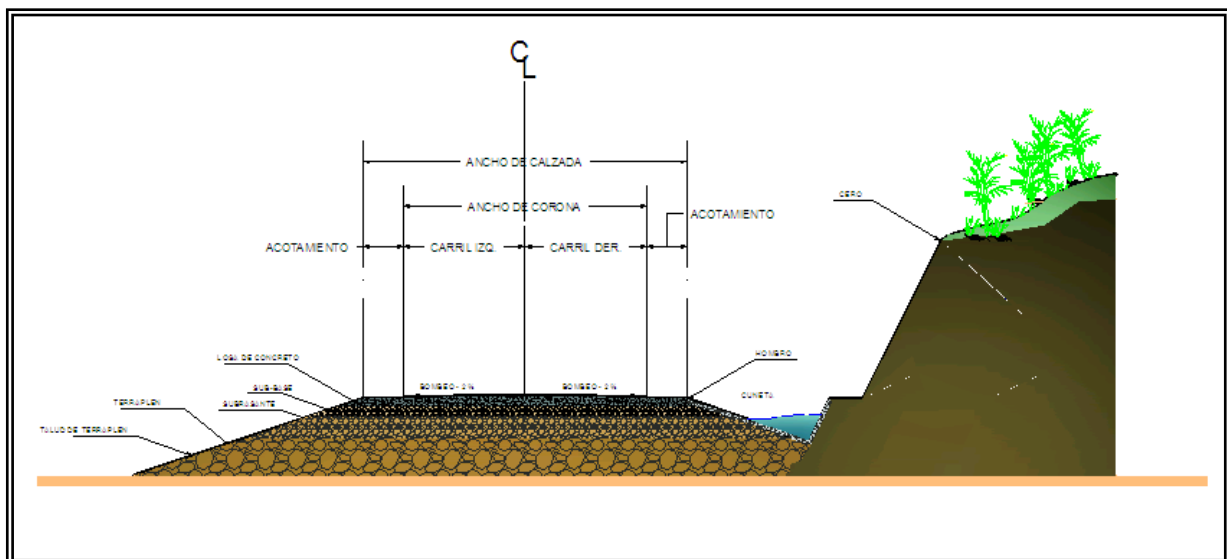


FIGURA 1.2
SECCIÓN ESTRUCTURAL DE UN PAVIMENTO RÍGIDO

LOSA DE CONCRETO

La Normativa de la SCT define a las carpetas de concreto hidráulico para pavimentos de carreteras como la colocación de una mezcla de agregados pétreos, cemento Pórtland y agua, para proporcionar al usuario una superficie de rodadura uniforme, bien drenada, resistente al derrapamiento, cómoda y segura, con la función

estructural de distribuir la carga de los vehículos hacia capas inferiores del pavimento. N-CTR-CAR-1-04-009/04.

Los esfuerzos transmitidos por las losas son mínimos y esto se debe a la rigidez de la losa de concreto y a su resistencia, en cambio un correcto trabajo de las losas exige que estén uniformemente apoyadas y que ese apoyo se mantenga en buenas condiciones durante toda la vida del pavimento, un buen apoyo debe incluir transiciones graduales en donde haya cambios abruptos de capacidad de carga del terreno, como en el paso de corte a terraplén o de terraplén a terreno firme.

Los factores que determinan el espesor de la losa son principalmente el nivel de carga que han de soportar, las presiones de inflado de las llantas de los vehículos, el módulo de reacción de apoyo y las propiedades mecánicas del concreto que en ellas se utilice. Su resistencia generalmente oscila entre 200 y 400 kg/cm².

Otro aspecto importante a considerar es la selección de las losas, ya que pueden ser de concreto simple, reforzado o pre-esforzado. El concreto simple es el que se elabora a base de cemento Pórtland agregados pétreos y agua. El concreto reforzado tiene la misma constitución que el simple, pero adicionalmente contiene acero que a su vez pueden ser: varillas lisas o corrugadas. Por último, las losas de concreto presforzado son aquellas que se construyen con secciones de concreto hidráulico sujetas a compresión, mediante un sistema de presfuerzo, con relativamente pocas juntas transversales. N-CTR-CAR-1-04-009/06.

SUB-BASE

La Sub-base esta compuesta por una o más capas de materiales granulares seleccionados, muchas de las veces estabilizados, solamente en casos especiales cuando cumpla con todas las características necesarias para cumplir como tal se podrá evitar que se construya de forma especial.

Sus principales funciones son:

- Proporcionar apoyo uniforme a la losa de concreto.
- Incrementar la capacidad portante de los suelos de apoyo, respecto a la que es común en las terracerías y capa Subrasante.
- Reducir a un mínimo las consecuencias de los cambios de volumen que se presenten en el suelo que forman las terracerías y la Subrasante.
- Reducir al mínimo las consecuencias de congelación en los suelos de las terracerías o la capa Subrasante.
- Evitar el bombeo.

VENTAJAS Y DEVENTAJAS DEL PAVIMENTO RÍGIDO

VENTAJAS:

- El mantenimiento que requiere es mínimo y solo se efectúa en las juntas de las losas.
- Al realizar la pavimentación con cimbras deslizantes la principal ventaja es el hecho de que una máquina, bajo el control de un solo operador reemplaza los diversos elementos que forman el acomodo de la maquinaria de pavimentación convencional.
- La sobrecarpeta de concreto proporciona ventajas a largo plazo para los usuarios de caminos y para los organismos encargados de carreteras debido a que la superficie de concreto reduce drásticamente el tiempo y los retrasos, que generalmente acompañan al mantenimiento constante de una superficie de asfalto.
- Las cargas pesadas no forman roderas ni dislocamientos en el concreto, el cual conserva una alta resistencia antiderrapante.

- También se han usado sobrecarpetas de concreto sobre pavimentos de asfalto existentes, como una alternativa a la "construcción por etapas" de pavimentos flexibles.
- Los análisis de los costos de rehabilitación y mantenimiento a largo plazo correspondientes a la "construcción por etapas", representa la solución más duradera de bajo riesgos.
- Una sobrecarpeta de concreto permite que la construcción se haga directamente sobre la superficie flexible existente, sin tener que eliminar o reparar la Sub-base o la Sub-rasante en toda la extensión del proyecto. El espesor gradual para ligarse a un puente o a estructuras en línea se logra rebajando con fresadora el asfalto existente hasta obtener la pendiente adecuada.
- La colocación de una sobrecarpeta de concreto directamente sobre un pavimento de asfalto, también puede ahorrar costos de construcción cuando hay mal tiempo. Después de una lluvia fuerte, la construcción de nuevos pavimentos se puede retrasar varios días, mientras la subrasante se seca hasta alcanzar una condición adecuada.
- Las sobrecarpetas de concreto colocadas encima del asfalto (Whitetopping), proporcionan una superficie segura que dará muchos años de servicio a bajo costo y con mantenimiento mínimo.
- Su periodo de vida varía entre 20 y 40 años.

DESVENTAJAS:

- Tiene un costo inicial muy elevado.
- Se debe tener cuidado en el diseño.
- Las juntas constructivas llegan a ocasionar desprendimiento de retina después de un largo periodo de tránsito sobre los pavimentos rígidos.

- En el caso de estructuras especiales como puentes o túneles, por la rigidez propia de los elementos, es común percibir la diferencia de niveles entre el pavimento y la estructura.
- La reflexión de los rayos solares se acrecienta debido al color del cemento.
- La incorporación de líneas subterráneas alternas como son los cruces de fibra óptica, ó las reparaciones de líneas existentes son más costosas comparadas con las reparaciones en pavimentos flexibles.
- La pintura esmalte para señalamientos se deteriora rápidamente.

1.4 ESTRUCTURAS ESPECIALES

TÚNELES

Los túneles para carreteras son perforaciones horizontales que se realizan en el terreno natural, con una geometría y pendiente determinada que permita el tránsito adecuado y oportuno de personas y maquinaria.

Los túneles se empezaron a construir en las minas, posteriormente con la modernización de las vías de comunicación se vio la necesidad de construirlos para trazar carreteras y vías férreas.

Un túnel se abre excavando corredores en la roca usando taladradoras de aire comprimido, son montadas sobre vehículos móviles, después se colocan explosivos dentro de los huecos y mediante unas cintas transportadoras alejan los fragmentos, mientras se construye un revestimiento de concreto para sostener el túnel y poder repetir el proceso.

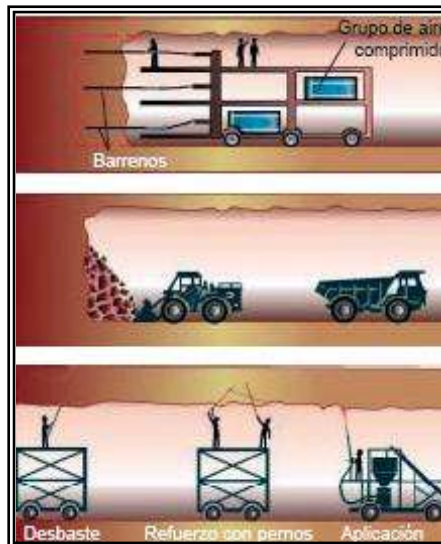


FIGURA 1.3

PROCESO DE EXCAVACIÓN, VOLADURA Y SUJECIÓN DE UN TÚNEL.

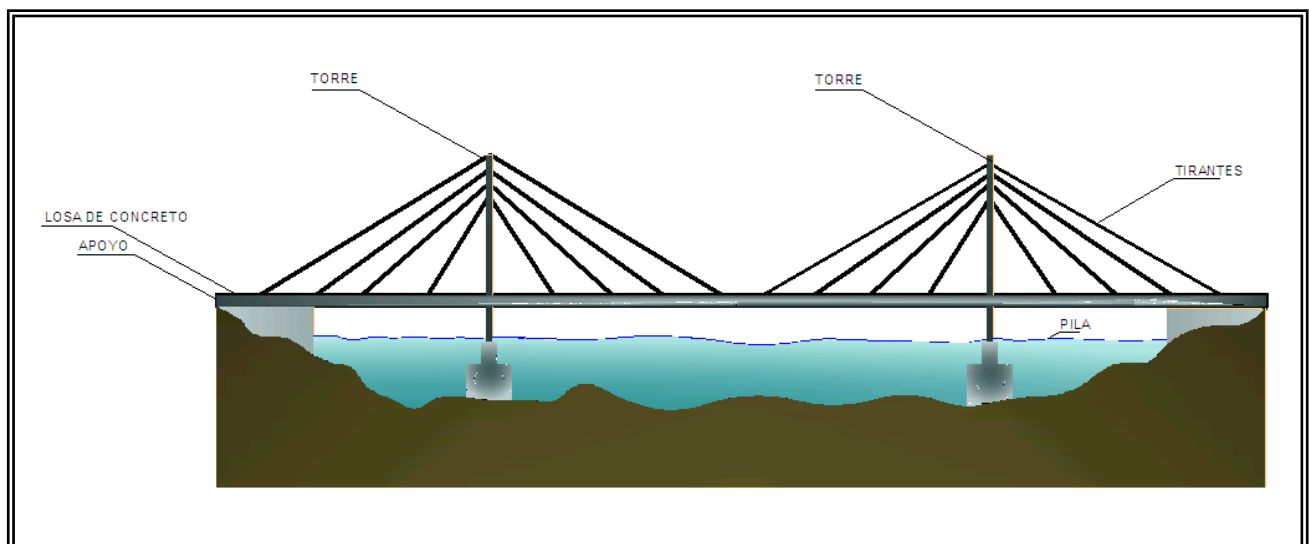
FUENTE <WWW.AULA.EL MUNDO.ES>

PUNTES

La creación de los puentes surgió por la necesidad de salvar obstáculos tan simples como una zanja, un arroyo o un río. Después de un periodo muy largo en el que la humanidad se valía de elementos como árboles caídos para poder cruzar barrancas o ríos y con el surgimiento de nuevos materiales de construcción como el acero se elaboraron nuevas teorías de construcción que dieron paso a la modernización en el diseño y construcción de las estructuras hasta llegar a los puentes que actualmente conocemos.

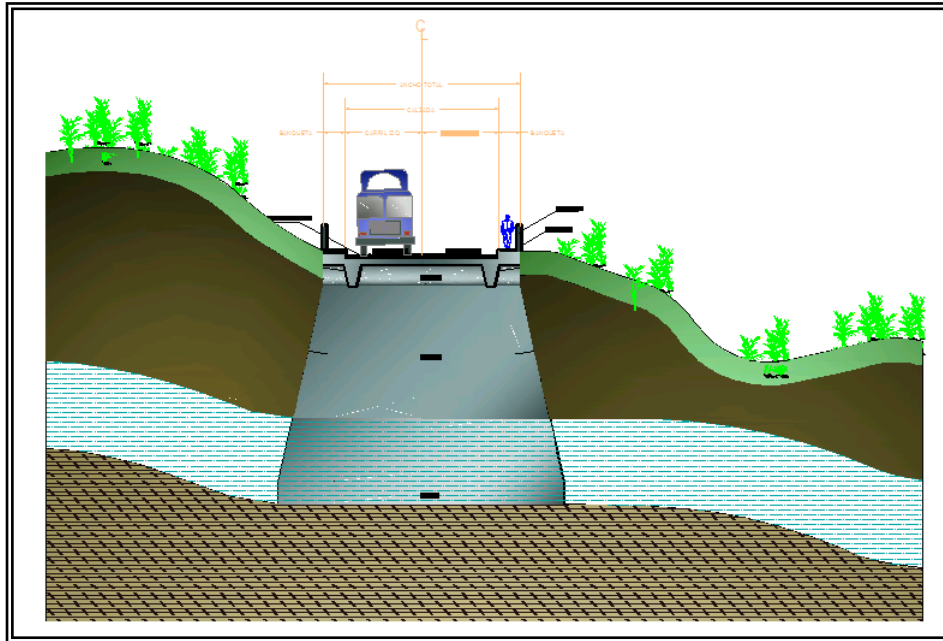
Los puentes son estructuras que permiten el paso sobre el agua, una vía de comunicación o una depresión del terreno. Se constituyen por una superestructura formada por los componente que se encuentran por encima de los elementos de soporte como la superficie de rodamiento, la losa y el conjunto de vigas; y por la infraestructura constituida por los elementos que requiere la superestructura para sustentarse, como son los apoyos, columnas, pilas, estribos y cabezales.

Los puentes deben cumplir con características geométricas de pendiente, peraltes, gálibos, etc., de acuerdo al tránsito que circulará sobre y debajo de ellos.



FIGUA 1.4

ELEMENTOS QUE FORMAN LA SUPERESTRUCTURA Y LA SUBESTRUCTURA DE UN PUENTE.



FIGUA 1.5

**CORTE TRANSVERSAL DE LA ESTRUCTURA DE UN PUENTE DE CONCRETO HIDRÁULICO
CUYA SUPERFICIE DE RODAMIENTO ES CARPETA ASFÁLTICA**

CLASIFICACIÓN DE LOS PUENTES

De acuerdo a su tamaño los puentes se clasifican de la siguiente manera:

CLASIFICACIÓN	CLARO
Alcantarillas	$L \leq 6 \text{ m}$
Puentes de claro medio	$6\text{m} < L \leq 60 \text{ m}$
Puentes de grandes claros	$L > 60 \text{ m}$

TABLA 1.1

CLASIFICACIÓN DE LOS PUENTES DE ACUERDO A SU CLARO.

FUENTE <WWW.ANIPPAC.ORG.MX>.

A los puentes según su función y utilización se les puede clasificar en:

- Puentes peatonales.
- Puentes, viaductos o pasos carreteros.
- Puentes, viaductos o pasos ferroviarios.

Según sus materiales de construcción, los puentes podrán ser de:

- Madera.
- Mampostería.
- Acero Estructural.
- Concreto Armado.
- Concreto Presforzado.

Dependiendo del tipo de estructura, los puentes podrán ser de:

- Libremente Apoyados.
- Tramos continuos.
- Arcos.
- Atirantados.
- Colgantes.
- Doble Voladizos

De acuerdo a su comportamiento elástico los puentes se pueden clasificar en:

- **Simplemente apoyados**
- **Continuos** (puentes desde claros medios, con continuidad únicamente en la superestructura, puentes colgantes, atirantados y empujados).

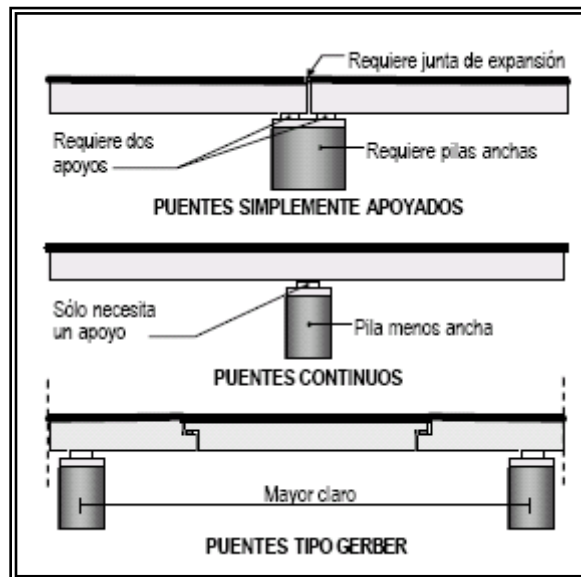


FIGURA 1.6

Puentes simplemente apoyados, continuos y tipo Gerber.

FUENTE <WWW.ANIPPAC.ORG.MX>.

Debido a sus características, un mismo puente puede contar con diferentes estructuraciones y por lo tanto con distintas resistencias laterales, tanto de un apoyo a otro como para ambos sentidos de análisis. Los puentes se clasificarán, de acuerdo a su resistencia lateral en:

- **Marcos.** Aquéllos en que exista continuidad entre traveses, cabezales y columnas, excepto con los estribos.
- **Pilas y muros de concreto reforzado.** Son aquellos elementos anchos cuyo comportamiento previsible ante carga lateral es por cortante y no por flexión. Se considerará como pila o muro a la subestructura de un puente que en el sentido de análisis tenga una relación entre su altura y su ancho menor que 3.

- **Columnas aisladas.** Todos aquellos en los que una columna es el único elemento sismorresistente y que trabaja a flexocompresión en la dirección de análisis.
- **Péndulo invertido.** Serán todos aquellos puentes apoyados sobre una columna en los que se presente cabeceo de la superestructura.
- **Estribos.** Elementos que rematan las rampas de acceso en el caso de puentes en áreas planas o el apoyo en laderas en puentes en zonas montañosas o en las zonas cercanas a la orilla de los ríos.

CAPÍTULO 2

CONCRETO HIDRÁULICO

2.1 INTRODUCCIÓN

El concreto es una mezcla compuesta por Cemento Pórtland, arena, grava y agua, la cual al endurecerse forma una masa semejante a una roca, debido a la reacción química entre el Cemento y el agua.

La característica esencial que se desea cumpla el concreto hidráulico es la durabilidad, es por ello que debe estar diseñado para soportar distintos tipos de cargas inducidas por el tráfico vehicular además de condiciones climáticas variadas como son el clima húmedo y seco, así como ciclos de congelación y deshielo. Entre los elementos que contribuyen a la durabilidad del concreto hidráulico se encuentran los agregados pétreos de buena calidad, una mezcla bien graduada y el aire incluido apropiado.

La inclusión del aire protege el concreto cuando ocurre congelación. Estas diminutas burbujas en la mezcla de concreto sirven como válvulas de aire cuando tiene

lugar la congelación. La inclusión de aire en áreas donde no hay congelación también hace al concreto más trabajable. El aire incluido actúa como pequeños cojinetes cuando el concreto está siendo trabajado en fresco. El concreto naturalmente contendrá burbujas de aire, pero si se controla, puede hacer el trabajo más fácil, así como contrarrestar los problemas de congelación y deshielo. Conviene recordar que el concreto tiene agua en toda su vida. Las burbujas de aire incluidas, por sí mismas no se llenan de agua. El agua está en otra parte, en la microestructura de concreto.

Durante la congelación, las burbujas de aire son un amortiguador ya que el hielo tiene un 9% más de volumen que el agua. Cuando el agua se expande, las burbujas de aire sirven como “válvulas de presión” en miniatura en el concreto. Si no están presentes, el concreto fácilmente se romperá.

2.2 CEMENTO PORTLAND

El cemento Pórtland es un conglomerante hidráulico que al ser hidratado se solidifica y endurece. Éste tipo de cemento se obtiene mediante un proceso industrial que consiste en pulverizar a un grado de finura determinado una mezcla fría de arcilla y materiales calcáreos, previamente sometida a cocción, que se denomina clinker Pórtland, al cual se le adiciona sulfato de calcio como anhídrita (CaSO_4), yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) o hemidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$), para regular el tiempo de fraguado. Según las propiedades que se requieran o para auxiliar la molienda, se le pueden agregar otros materiales como:

- **Puzolanas.** Son materiales naturales, artificiales o subproductos industriales silíceos o silicoaluminosos, o una combinación de ambos, los cuales no endurecen por sí mismos, pero finamente molidos, reaccionan en presencia de agua a la temperatura ambiente con el hidróxido de calcio formando compuestos con propiedades cementantes.
- **Escoria granulada de alto horno.** Es el residuo no metálico que se obtiene por la fusión de minerales de hierro, enfriado bruscamente con agua o vapor y aire, esta compuesto principalmente por silicatos y aluminosilicatos cálcicos.
- **Humo de sílice.** Es una puzolana muy fina constituida esencialmente por sílice amorfa, obtenida como un subproducto de la fabricación de silicio o aleaciones con arco eléctrico de ferro-silicio.
- **Caliza.** Es un material de naturaleza inorgánica de origen mineral carbonatado, compuesto principalmente por carbonatos de calcio en forma de calcita.

CLASIFICACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND

Según su composición los cementos Pórtland se clasifican como:

- **Tipo CPO (Cemento Portland Ordinario).** Es producido mediante la molienda del clinker Pórtland y sulfato de calcio.
- **Tipo CPP (Cemento Portland Puzolanico).** Es el que resulta de la molienda conjunta del clinker Pórtland, puzolanas y sulfato de calcio.
- **Tipo CPEG (Cemento Portland con Escoria Granulada de alto horno).** Se produce mediante la molienda conjunta del clinker Pórtland, escoria granulada de alto horno y sulfato de calcio.
- **Tipo CPC (Cemento Portland Compuesto).** Se obtiene de la molienda conjunta del clinker Pórtland, puzolanas, escoria de alto horno, caliza y sulfato de calcio. En este tipo de cemento la caliza puede ser el único componente adicional al clinker Pórtland con el sulfato de calcio.
- **Tipo CPS (Cemento Portland con humo de Sílice).** Es el que resulta de la molienda conjunta del clinker Pórtland, humo de sílice y sulfato de calcio.
- **Tipo CEG (Cemento con Escoria Granulada de alto horno).** Se produce mediante la molienda conjunta del clinker Pórtland, sulfato de calcio y mayoritariamente escoria granulada de alto horno.

2.3 AGREGADOS PÉTREOS PARA CONCRETO HIDRÁULICO

Son materiales pétreos naturales seleccionados, sujetos a tratamientos de disgregación, cribado, trituración o lavado, o bien materiales producidos por expansión, calcinación o fusión excipiente.

Estos agregados se clasifican a su vez en:

Agregado fino: Es arena natural seleccionada u obtenida mediante trituración y cribado, con partículas de tamaño comprendido entre 75 micrómetros (malla No. 200) y 4,75 mm (malla No. 4), pudiendo contener finos de menor tamaño.

Agregado grueso: Puede ser grava natural seleccionada u obtenida por medio de trituración y cribado, escorias de altos hornos enfriadas en aire o una combinación de dichos materiales, con partículas de tamaño máximo entre 19 milímetros. ($\frac{3}{4}$ "), y 75 milímetros (3"), pudiendo contener fragmentos de roca y arena.

Fragmentos de roca: Son los agregados de más de 75 mm (3") y con una masa máxima de 30 kilogramos, como por ejemplo los boleos o la piedra, entre otros. Con estos se fabrica concreto ciclópeo.

Agregado ligero: Dentro de ésta clasificación quedan comprendidos agregados tanto finos como gruesos, constituidos principalmente por materiales inorgánicos de estructura celular, preparados por expansión, calcinación o fusión incipiente de escorias de altos hornos, arcillas comunes, diatomitas, cenizas volantes, lutitas y pizarras. También con tratamientos naturales tales como piedra pómez, perlitas, tezontles, escorias y toba. Se emplean en la fabricación de concreto estructural ligero, de baja masa volumétrica y resistencia limitada a la compresión.

CAPÍTULO 3

MEZCLAS ASFÁLTICAS

3.1 INTRODUCCIÓN

Las mezclas asfálticas se han desarrollado con la finalidad de construir pavimentos flexibles que proporcionen al usuario una estructura de pavimentación segura y confiable, además de una superficie de rodamiento adecuada que garantice tanto la estabilidad de los vehículos, como la comodidad del automovilista.

La definición de las mezclas asfálticas de acuerdo a lo estipulado en la norma N-CMT-4-05-003/02; 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. Dice textualmente lo siguiente: *“Una mezcla asfáltica es el producto obtenido de la incorporación y distribución uniforme de un material asfáltico en uno pétreo”*.

3.2 ASFALTOS

Las siguientes definiciones están basadas en la normativa de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de México, por lo cual, en lo sucesivo únicamente mencionaremos la cita a la normativa de la manera más breve.

El asfalto es un material bituminoso de color negro, constituido principalmente por asfaltenos, resinas y aceites, los cuales le proporcionan consistencia, aglutinación y ductilidad al mismo. El asfalto se encuentra en estado sólido o semisólido a temperatura ambiente normal, conteniendo propiedades cementantes. Al calentarse se ablanda gradualmente hasta alcanzar una consistencia líquida. N-CMT-04-05-001/06

El principal uso de los asfaltos es en la elaboración de carpetas, morteros, riegos y estabilizaciones, ya sea para aglutinar los materiales pétreos utilizados, para ligar o unir diferentes capas de pavimento; o para estabilizar bases o sub bases hidráulicas. Otras de sus utilidades es en la construcción, fabricación e impermeabilización de estructuras, como por ejemplo en obras de drenaje. Cabe señalar que el riego de liga es el tema principal de este trabajo, por lo que en lo sucesivo se ampliará la información acerca del mismo.

CLASIFICACIÓN

Los materiales asfálticos se clasifican en cementos asfálticos, emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados, dependiendo del vehículo que se emplee para su incorporación o aplicación, dicha clasificación se puede observar en la siguiente tabla:

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.
Material asfáltico	Vehículo para su aplicación	Usos más comunes
Asfalto rebajado	Solventes	Se utiliza en la elaboración en frío de carpetas y para la impregnación de subbases y bases hidráulicas.

TABLA 3.1

CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES ASFÁLTICOS

FUENTE <NORMA N-CMT-4-05-001/06, SCT>

Los cementos asfálticos se obtienen 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 60 grados Celsius, los cementos asfálticos se clasifican como se indica en la siguiente tabla, donde se señalan los usos más comunes de cada uno.

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 3.1 • 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 3.1 • 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 3.1

Clasificación	Viscosidad a 60°C Pa·s (P ^[1])	Usos más comunes
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 3.1 • 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 3.1
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 3.1 • 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 3.1 • En la elaboración de asfaltos rebajados en general, para utilizarse en carpetas de mezcla en frío, así como en riegos de impregnación.

[1] Poises

TABLA 3.2
CLASIFICACIÓN DE LOS CEMENTOS ASFÁLTICOS SEGÚN SU VISCOSIDAD DINÁMICA A 60°C
FUENTE <NORMA N-CMT-4-05-001/06, SCT>



FIGURA 3.1
REGIONES GEOGRÁFICAS PARA LA UTILIZACIÓN DE ASFALTOS,
CLASIFICADOS SEGÚN SU VISCOSIDAD DINÁMICA A 60°C.

3.3 MATERIALES PÉTREOS

Los materiales pétreos son partículas granulares de calidad variable, son el producto de la fragmentación de distintas rocas de la corteza terrestre, ya sea de forma natural o artificial.

Los pétreos constituyen entre el 90 y 95 % en peso, y el 75 y 85 % en volumen de la mezcla asfáltica.

CLASIFICACIÓN

Las rocas se dividen en tres tipos generales:

- **Rocas sedimentarias.** Formadas por la acumulación de partículas finas en el agua, o a medida que el agua se deposita, entre ellas se encuentran: las areniscas, las arcillas esquistosas, algunas calizas, carbón, sal y yeso. Las rocas sedimentarias pueden ser llamadas silíceo (alto contenido de sílice) y calcáreo (alto contenido de carbonato calcáreo).
- **Rocas ígneas.** Son las rocas producto del magma que se enfrió y solidificó, existen dos tipos: extrusivas e intrusivas. Las extrusivas están formadas por el material que vertió fuera el volcán, como son la riolita, la andesita, y el basalto. Las intrusivas están formadas a partir del magma que queda atrapado en las profundidades de la corteza terrestre, las cuales tienen apariencia cristalina, como son: el granito, la diorita, el gabro y la cantera.
- **Rocas metamórficas.** Son rocas ígneas o sedimentarias que han sido transformadas por procesos de intensa presión, calor dentro de la tierra y por reacciones químicas. Algunos ejemplos son los esquistos, la pizarra, el mármol y la cuarcita.

TIPOS DE AGREGADOS SEGÚN SU ORIGEN

Los agregados pétreos usados en el pavimento flexible se clasifican de acuerdo a su origen. Pueden ser:

- **Agregados naturales.** Son los que se pueden utilizar con poco o ningún procesamiento. Los principales agregados de este tipo son la grava y la arena. La grava se define como el material que se retiene en la malla No 4 (4.75 mm) y cuenta con un tamaño máximo de partícula de 2" (50mm); tamaños mayores de 2" son considerados fragmentos de roca. Por su parte la arena debe contar con un tamaño de partícula que, como máximo se retenga en la malla No 10 (2mm), y como límite inferior se encuentre el retenido en la malla No 200 (0.075mm). El resto de las partículas que pasan la malla No 200 será considerado como finos. M-MMP-4-04-002/02
- **Agregados procesados.** Son los materiales que han sido triturados y cribados antes de ser usados, existen dos fuentes de estos agregados que son: gravas naturales que se trituran para darle características más apropiadas y fragmentos de lecho de rocas grandes que deben de ser reducidos para su utilización. Las rocas son trituradas por tres razones: para cambiar la textura superficial de las partículas de lisas a rugosas, para reducir y mejorar la distribución y el rango de los tamaños de las partículas.
- **Agregados sintéticos.** Ellos son el producto del procesamiento físico o químico de materiales, algunos son subproductos de procesos industriales de producción, como el refinamiento de metales. El producto usado más comúnmente es la escoria de altos hornos. Los agregados sintéticos manufacturados son nuevos en la utilización dentro de los pavimentos, se producen al quemar arcilla, arcilla esquistosa, tierra diatomácea procesada, vidrio volcánico, escoria y otros materiales. Se han utilizado en la pavimentación de cubierta de puentes y techos, así como en las capas superficiales del pavimento donde no se requiere la máxima resistencia al deslizamiento.

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES PÉTREOS

Las principales propiedades que debe cumplir un material pétreo son:

- **Graduación y tamaño máximo de la partícula.** Las especificaciones del pavimento requieren que este tenga un tamaño máximo de partícula y que cada uno esté en ciertas proporciones.
- **Granulometría.** Este método tiene como objetivo principal determinar el porcentaje de las partículas de tamaño variable a partir de los pesos obtenidos en las fracciones obtenidas en el cribado. Se hace mediante un análisis de tamices efectuados sobre la muestra del agregado. La granulometría se expresa ya sea en el porcentaje que pasa, o el porcentaje total retenido, o porcentaje total que pasa y retenido. Después de ser calculada se grafica como una curva continua, ya sea semi-logarítmica o exponencial.
- **Limpieza.** Esta propiedad nos ayuda a darnos cuenta de las cantidades de materiales indeseables que contienen los agregados, ya que en cantidades excesivas pueden afectar desfavorablemente el comportamiento del pavimento. El cribado por lavado nos da una referencia exacta de la cantidad de contenido de material fino, solo se realiza una comparación de pesos de antes y después del lavado del material y se determina mediante un porcentaje.
- **Dureza.** Los materiales deben ser capaces de resistir la abrasión de desgaste y degradación durante la producción, colocación y compactación de la mezcla de pavimentación, y durante la vida de servicio del pavimento. Los agregados que están en la superficie deben de ser más duros que los materiales que se encuentran en las capas inferiores de la estructura del pavimento, esto es debido a que las capas superiores están sometidas a mayores esfuerzos y a mayor desgaste por las cargas del tránsito.
- **Forma de la partícula.** Esta afecta la trabajabilidad de la mezcla durante el tiempo de colocación, así como la cantidad de fuerza necesaria para compactar la mezcla a la

densidad requerida. La forma de la partícula también afecta la resistencia de la estructura del pavimento durante su vida útil.

- Las partículas irregulares y angulares generalmente resisten el desplazamiento, debido a que se entrelazan, cuando son compactadas. Las partículas gruesas de agregado proporcionan la resistencia en el pavimento y provienen generalmente de piedra o grava triturada.
- **Textura superficial.** Determina no solo la trabajabilidad y la resistencia, sino también las características de la resistencia al deslizamiento en la superficie del pavimento. Una textura áspera proporciona aumento de la resistencia al deslizamiento, esto se debe a que evita que las partículas se muevan una respecto a la otra y proporcionan un alto coeficiente de fricción.
- **Capacidad de absorción.** Es la capacidad que tiene un agregado de absorber determinada cantidad de un líquido ya sea de agua o asfalto. Si el agregado tiene una alta capacidad de absorción seguirá absorbiendo asfalto después del mezclado inicial en la planta, y se requerirán mayores cantidades de asfaltos.
- **Afinidad con el asfalto.** Es la tendencia del agregado a aceptar y retener una capa de asfalto, las calizas, las dolomitas y las rocas trapeanas tienen alta afinidad con el asfalto y son conocidas como hidrofóbicas (repelen el agua), porque resisten los esfuerzos del agua por separar el asfalto de sus superficies. Los agregados hidrofílicos (atraen el agua) tienen poca afinidad con el asfalto, por esa razón tienden a separarse de las partículas de asfalto cuando son expuestos al agua, un ejemplo claro son los agregados silíceos.

3.4 CLASIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

Respecto a lo anterior es de suma importancia señalar que de acuerdo al uso, las condiciones de trabajo y aplicación, las mezclas asfálticas se obtienen mediante distintos procedimientos. Los procedimientos de mezclado se clasifican de la siguiente manera:

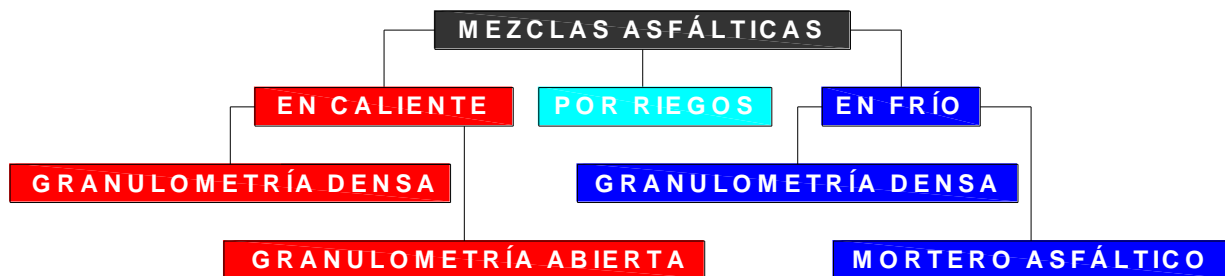


FIGURA 3.2
CLASIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

Como su nombre lo dice para su elaboración se requiere de calor, el cual es inducido por medio de equipos que van integrados tanto a las plantas fijas como a las móviles. Los materiales que intervienen en esta mezcla son el cemento asfáltico y los materiales pétreos.

Las mezclas asfálticas a su vez se clasifican en “*de Granulometría Densa y Granulometría Abierta*”.

Mezcla asfáltica de granulometría densa

Esta mezcla debe de elaborarse con cemento asfáltico y materiales pétreos. Además debe cumplir con el requisito de ser uniforme y homogénea, lo cual significa que

cualquier porción de mezcla que tomemos debe contar con el mismo tamaño de agregado, a su vez éste agregado contará con las características señaladas en la Norma N-CMT-4-04/03, cláusula D; la cual textualmente dice lo siguiente:

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 8.2 toneladas, acumulados durante la vida útil del pavimento (ΣL), cumplirá con lo que se indica a continuación:

Cuando el tránsito esperado (ΣL = Número de ejes equivalentes) sea igual o menor a un (1) millón, el material pétreo, según su tamaño nominal, cumplirá con las características granulométricas de las siguientes tablas:

Malla		Tamaño nominal del material pétreo				
Abertura mm	Designación	12.5 mm (½")	19 mm (¾")	25 mm (1")	37.5 mm (1½")	50 mm (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	No. 4	68 – 82	59 – 74	50 – 64	42 – 58	35 – 53
2	No. 10	48 – 64	41 – 55	36 – 46	30 – 42	26 – 38
0.85	No. 20	33 – 49	28 – 42	25 – 35	21 – 31	19 – 28
0.425	No. 40	23 – 37	20 – 32	18 – 27	15 – 24	13 – 21
0.25	No. 60	17 – 29	15 – 25	13 – 21	11 – 19	9 – 16
0.15	No. 100	12 – 21	11 – 18	9 – 16	8 – 14	6 – 12
0.075	No. 200	7 – 10	6 – 9	5 – 8	4 – 7	3 – 6

TABLA 3.3

**REQUISITOS DE GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL PÉTREO PARA
CARPETAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA Densa (UNICAMENTE PARA $\Sigma L \leq 10^6$)**

FUENTE <NORMA N-CMT-4-04/03, SCT>

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

TABLA 3.4
**REQUISITOS DE CALIDAD DEL MATERIAL PÉTREO PARA
 CARPETAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA DENSA (UNICAMENTE PARA $\Sigma L \leq 10^6$)**
 FUENTE <NORMA N-CMT-4-04-03, SCT>

Si el tránsito esperado (ΣL) es mayor de un (1) millón de ejes equivalentes, el material pétreo cumplirá con las características granulométricas de las tablas 3.5 y 3.6

NOTA.- La tabla de los requisitos de granulometría del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa (para cualquier valor de ΣL), también aplica para $\Sigma L \leq 10^6$

Malla		Tamaño nominal del material pétreo				
Abertura mm	Designación	12.5 mm (1/2")	19 mm (3/4")	25 mm (1")	37.5 mm (1 1/2")	50 mm (2")
Porcentaje que pasa						
50	2"	-----	-----	-----	-----	100
37.5	1 1/2"	-----	-----	-----	100	90 – 100
25	1"	-----	-----	100	90 – 100	74 – 90
19	3/4"	-----	100	90 – 100	79 – 90	62 – 79
12.5	1/2"	100	90 – 100	72 – 90	58 – 71	46 – 60
9.5	3/8"	90 – 100	76 – 90	60 – 76	47 – 60	39 – 50
6.3	1/4"	70 – 81	56 – 69	44 – 57	36 – 46	30 – 39
4.75	No. 4	56 – 69	45 – 59	37 – 48	30 – 39	25 – 34

2	No. 10	28 – 42	25 – 35	20 – 29	17 – 24	13 – 21
0.85	No. 20	18 – 27	15 – 22	12 – 19	9 – 16	6 – 13
0.425	No. 40	13 – 20	11 – 16	8 – 14	5 – 11	3 – 9
0.25	No. 60	10 – 15	8 – 13	6 – 11	4 – 9	2 – 7
0.15	No. 100	6 – 12	5 – 10	4 – 8	2 – 7	1 – 5
0.075	No. 200	2 – 7	2 – 6	2 – 5	1 – 4	0 – 3

TABLA 3.5
**REQUISITOS DE GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL PÉTREO PARA
 CARPETAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA Densa (PARA CUALQUIER VALOR DE ΣL)**
 FUENTE <NORMA N-CMT-4-04/03, SCT>

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

TABLA 3.6
**REQUISITOS DE CALIDAD DEL MATERIAL PÉTREO PARA
 CARPETAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA Densa (PARA $\Sigma L > 10^6$)**
 FUENTE <NORMA N-CMT-4-04-03, SCT>

En atención a lo indicado respecto a la homogeneidad del agregado, se establece que éste debe ser bien graduado, lo cual se traduce en el tamaño nominal que fluctúa entre 37.5 mm ($1\frac{1}{2}$ ") y 9.5 mm ($\frac{3}{8}$ ").

Las mezclas asfálticas en caliente, de granulometría densa son comúnmente utilizadas en la construcción de carpetas asfálticas para pavimentos nuevos en los que el requerimiento de resistencia estructural es muy elevado. Por otra parte suelen utilizarse también en renivelaciones de pavimentos asfálticos ya existentes en los que es necesario el refuerzo estructural.

Mezcla asfáltica de granulometría abierta

La principal diferencia con respecto a la mezcla asfáltica de granulometría densa es el porcentaje de vacíos. Dicha particularidad da como resultado que éste tipo de mezcla no sea empleada bajo ninguna circunstancia como refuerzo estructural, sino por el contrario, se aplica sobre una carpeta de granulometría densa, para complementarse mutuamente, ya que al contar con un alto número de vacíos éstos pueden ser ocupados por el agua en caso de precipitaciones pluviales, de ésta manera se logra incrementar la fricción de las llantas con la superficie de rodadura.

Otra ventaja que se obtiene al aplicar este tipo de mezcla es que se logra minimizar el acuaplaneo, el cual no es más que la acumulación de agua sobre la carpeta, situación que es peligrosa porque ocasiona la pérdida de estabilidad del vehículo y en ocasiones la pérdida total del control en el volante.

También es importante señalar que se mejora la visibilidad de los señalamientos horizontales de la vía de comunicación.

Las mezclas asfálticas de granulometría abierta son susceptibles al congelamiento, por lo cual se recomienda no aplicarlas en zonas donde la temperatura sea inferior a 1° C. Es importante considerar el no aplicar éstas mezclas en zonas donde la precipitación pluvial sea menor de 600 mm por año.

En las siguientes tablas muestran las características granulométricas para los materiales pétreos a emplear en las carpetas asfálticas de granulometría abierta; dichas tablas están en función a los espesores de diseño, así como a los requisitos de calidad del material pétreo, respectivamente.

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	No. 4	18 – 38	14 – 33
2	No. 10	5 – 19	5 – 19
0.075	No. 200	2 – 4	2 – 4

TABLA 3.7
**REQUISITOS DE GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL PÉTREO PARA
 CARPETAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA ABIERTA**
 FUENTE <NORMA N-CMT-4-04/03, SCT>

Característica ^[1]	Valor
Densidad relativa, mínimo	2.4
Desgaste de 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 3.8
**REQUISITOS DE CALIDAD DEL MATERIAL PÉTREO PARA
 CARPETAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA ABIERTA**
 FUENTE <NORMA N-CMT-4-04-03, SCT>

MEZCLAS ASFÁLTICAS POR EL SISTEMA DE RIEGOS

Estas mezclas 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 de materiales pétreos para carpetas por el sistema de riegos, establecidos en la Norma N-CMT-4-04/03, Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas, la cual dice lo siguiente:

Las carpetas que se construyan por el sistema de riegos deberán contar con materiales pétreos con las siguientes características granulométricas:

Malla		Tamaño nominal del material pétreo				
Abertura mm	Designación	1	2	3 – A	3 – B	3 – B
		Porcentaje que pasa				
31.5	1¼"	100	-----	-----	-----	-----
25	1"	95 mín	-----	-----	-----	-----
19	¾"	-----	100	-----	-----	-----
12.5	½"	5 máx	95 mín	100	-----	100
9.5	⅜"	-----	-----	95 mín	100	95 mín
6.3	¼"	0	5 máx	-----	95 mín	-----
4.75	No. 4	-----	-----	-----	-----	5 máx
2	No. 10	-----	0	5 máx	5 máx	0
0.425	No. 40	-----	-----	0	0	-----

TABLA 3.9

REQUISITOS DE GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL PÉTREO PARA CARPETAS POR SISTEMAS DE RIEGOS

FUENTE <NORMA N-CMT-4-04-03, SCT>

Además es necesario que cuenten con los requisitos de calidad que se indican en la siguiente tabla:

Característica	Valor
Desgaste de 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

TABLA 3.10

REQUISITOS DE CALIDAD DEL MATERIAL PÉTREO PARA CARPETAS POR SISTEMAS DE RIEGOS

FUENTE <NORMA N-CMT-4-04-03, SCT>

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 derramamiento y al pulimento.

MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

Para su elaboración se emplean emulsiones asfálticas o asfaltos rebajados y materiales pétreos, revueltos en plantas mezcladoras móviles. Como su nombre lo dice se elaboran en frío.

Este tipo de mezclas se clasifican de la siguiente manera:

Mezcla asfáltica de granulometría densa

Este tipo de mezcla debe contar con las siguientes características: ser uniforme y homogénea, su elaboración es a partir del uso bien sea de emulsión asfáltica o asfalto rebajado además de materiales pétreos con un tamaño nominal comprendido entre 37.5 mm (1½”) y 9.5 mm (¾”), que a su vez cumplan con los requisitos de calidad señalados en la Norma N-CMT-4-04/03, Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas. Esta tabla es la misma que se señaló anteriormente para la granulometría densa en caliente. (Tabla 3.4.4, 3.4.2, 3.4.3 y 3.4.4)

Es común el uso de las mezclas asfálticas de granulometría densa en frío para casos en los que la intensidad del tránsito $\sum L \leq 1$ millón de ejes equivalentes, en donde no se requiera de una alta resistencia estructural, para construir carpetas asfálticas de pavimentos nuevos y en carpetas asfálticas para refuerzo de pavimentos existentes. También se aplican en la reparación de baches.

Mortero asfáltico

Al igual que las mezclas descritas anteriormente, el mortero asfáltico debe cumplir con la característica de ser homogéneo y uniforme, con la particularidad de ser mezclado en frío. Se elabora con emulsión asfáltica o asfalto rebajado, agua y arena. A continuación se describen sus características granulométricas en la siguiente tabla.

Malla		Porcentaje que pasa
Abertura mm	Designación	
4.75	No. 4	100
2	No. 10	89 – 100
0.85	No. 20	43 – 72
0.425	No. 40	26 – 53

0.25	No. 60	17 – 41
0.15	No. 100	10 – 30
0.075	No. 200	5 – 15

TABLA 3.11
**REQUISITOS DE GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL PÉTREO
 PARA CARPETAS DE MORTERO ASFÁLTICO.**

FUENTE <NORMA N-CMT-4-04/03, SCT>

Además, es necesario que el material pétreo cuente con los requisitos de calidad que se mencionan a continuación:

Característica	Valor
Desgaste de Los Ángeles; %, máximo	10
Equivalente de arena; %, mínimo	50
Pérdida de estabilidad por inmersión en agua; %, máximo	25

TABLA 3.12
**REQUISITOS DE CALIDAD DEL MATERIAL PÉTREO
 PARA CARPETAS DE MORTERO ASFÁLTICO.**

FUENTE <NORMA N-CMT-4-04-03, SCT>

El uso que generalmente se le da al mortero asfáltico es su colocación sobre una base impregnada o una carpeta asfáltica, como capa de rodadura.

3.5 DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Una mezcla asfáltica en caliente es una combinación de asfaltos y materiales pétreos en proporciones exactas.

El diseño de mezclas consiste en seleccionar y proporcionar materiales para poder obtener las propiedades deseadas en el pavimento terminado, pero su objetivo general es determinar una combinación y graduación económica de agregados y asfalto.

El diseño de mezclas seleccionado es usualmente, el más económico y el que cumple satisfactoriamente con todos los criterios establecidos.

El método de diseño comúnmente utilizado para determinar las proporciones apropiadas de asfalto y agregados en una mezcla, es el Método Marshall.

Las características de la mezcla son:

- Densidad de la mezcla
- Vacíos de aire o simplemente vacíos
- Vacíos en el agregado mineral
- Contenido de asfalto

PROPIEDADES CONSIDERADAS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS

ESTABILIDAD

Es la capacidad que tiene un asfalto para resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas, un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos, ondulaciones y otras señas que indican cambios de la mezcla.

La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna en las partículas del agregado (fricción entre partículas), está relacionada con características del agregado tales como la forma y la textura superficial.

La cohesión resulta de la capacidad ligante del asfalto, un grado propio de fricción y cohesión interna, en la mezcla, previene que las partículas de agregado se desplacen unas respecto a otras debido a las fuerzas ejercidas por el tráfico.

Entre más angular sea la forma de las partículas de agregado y más áspera sea su textura superficial, más alta será la estabilidad de la mezcla.

La fuerza ligante de cohesión aumenta proporcionalmente a la frecuencia de la carga, también se observa incrementada cuando la viscosidad del asfalto es mayor, o a medida que la temperatura del pavimento disminuye.

La cohesión es mayor cuando se incrementa el contenido de asfalto, sin embargo, cuando se sobrepasa el nivel óptimo de asfalto, se genera una película demasiado gruesa sobre la partícula de agregado, lo cual tiene como consecuencia pérdidas de fricción entre partículas.

DURABILIDAD

Es una característica con la que debe contar la mezcla asfáltica para resistir factores tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades del asfalto y separación de las películas de asfalto. Estos factores se pueden presentar por causas como el clima, el tránsito o una combinación de ambos.

La durabilidad de la mezcla puede ser mejorada de tres formas: usando la mayor cantidad posible de asfalto; sin sobrepasar el nivel óptimo, usando una graduación densa

de agregado resistente a la separación, y por último diseñando y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad.

Una mayor cantidad de asfalto aumenta la durabilidad, ya que las películas gruesas de asfalto no se envejecen o endurecen tan rápido como lo hacen las películas delgadas, así el asfalto retiene por más tiempo sus características originales, además de sellar eficazmente sus vacíos y no permitir el paso del agua y el aire.

Una graduación densa de agregado firme contribuye a la durabilidad del pavimento de las formas siguientes:

- Proporciona el contacto cercano de las partículas mejorando la impermeabilidad de la mezcla.
- Resiste a la disgregación bajo las cargas del tránsito.
- Resiste la acción del agua y el tránsito, las cuales tienden a separar la película de asfalto de las del agregado.

La resistencia de la mezcla a la separación puede ser mejorada mediante el uso de compuestos adhesivos o rellenos minerales como la cal hidratada.

IMPERMEABILIDAD

En un pavimento asfáltico es la resistencia al paso del aire y agua hacia su interior, o a través de él, ésta característica se relaciona con cantidad de vacíos de la mezcla compactada.

Está determinado por el tamaño de los vacíos sin importar si están o no conectados y por el acceso que tienen a la superficie del pavimento.

TRABAJABILIDAD

Es la facilidad con la que una mezcla puede ser colocada y compactada, puede ser mejorada modificando los parámetros de diseño de la mezcla y el tipo de agregado y granulometría.

Las mezclas gruesas tienden a segregarse durante su manejo y pueden ser difíciles de compactar. Si la mezcla tiene demasiado contenido mineral esto también afecta su trabajabilidad.

Las mezclas que son fáciles de trabajar se conocen como mezclas tiernas, este tipo de mezclas son demasiado inestables a la hora de la colocación y de la compactación, usualmente son el producto de una falla de relleno mineral, exceso de arena de tamaño medio, partículas lisas y redondeadas y/o demasiada humedad de la mezcla.

Una temperatura demasiado baja hará que la mezcla sea poco trabajable y una muy alta hace que la mezcla se vuelva tierna.

FLEXIBILIDAD

Es la capacidad del pavimento asfáltico para acomodarse sin que éste se agriete ante la presencia de movimientos y asentamientos graduales de la subrasante. Las mezclas de granulometría abiertas con alto contenido de asfalto son más flexibles que una mezcla densamente graduada de bajo contenido de asfalto.

RESISTENCIA A LA FATIGA

Es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. Los vacíos y la viscosidad del asfalto tienen una relación directa sobre la resistencia a la fatiga, a medida que el porcentaje de vacíos aumenta, la resistencia a la fatiga disminuye.

Los pavimentos de gran espesor sobre subrasante resistentes no se flexionan tanto bajo las cargas como los pavimentos delgados o aquellos que se encuentran sobre subrasantes débiles.

RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO

Es la habilidad de la superficie del pavimento de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie de rodamiento está mojada.

Se obtiene buena resistencia al deslizamiento cuando el neumático es capaz de mantener el contacto sobre las partículas de agregado y no sobre las de agua (hidroplaneo). Una superficie rugosa nos da mayor resistencia al deslizamiento que una lisa.

La mejor resistencia se obtiene con un agregado de textura áspera, en una mezcla de graduación abierta y con tamaño máximo de 9.5 mm (3/8") a 12.5 mm (1/2"), los agregados además deben de resistir el pulimento bajo el tránsito, los agregados calcáreos son más susceptibles al pulimento que los agregados silíceos.

EVALUACIÓN Y AJUSTES EN EL DISEÑO DE LA MEZCLA

Para realizar el proceso de evaluación de mezclas se elaboran varias mezclas de prueba para encontrar una que cumpla con todos los criterios del método de diseño, éste sirve como guía para poder hacer ajustes a las demás mezclas de prueba.

1. BAJO CONTENIDO DE VACÍOS, BAJA ESTABILIDAD

El nivel de vacíos puede aumentarse de varias maneras, una es aumentar el VMA mediante la adición de agregado grueso o agregado fino, proporciona mas espacio en la mezcla para una mayor cantidad de vacíos.

Otra de las formas es la de disminuir la cantidad del asfalto, solo se puede hacer cuando existe exceso de asfalto y si no se reduce el contenido de asfalto por debajo del límite donde el espesor de la película y eventualmente la durabilidad del pavimento se encuentra en un nivel aceptable.

El aumento de la cantidad de materiales triturados aumenta el VMA y proporcionan texturas más ásperas.

2. BAJO CONTENIDO DE VACÍOS

Éste puede causar exudación después de que el pavimento ha sido expuesto al tránsito por un periodo determinado de tiempo, también puede provocar inestabilidad y exudación cuando ocurre degradación en la mezcla.

3. CONTENIDO SATISFACTORIO DE VACÍOS, BAJA ESTABILIDAD

Cuando los vacíos y la graduación del agregado son satisfactorias, puede indicar deficiencias del agregado, se debe considerar mejorar la calidad con las referencias de inciso 1.

4. CONTENIDO ALTO DE VACÍOS, ESTABILIDAD SATISFACTORIA

Estas frecuentemente asociadas con altas condiciones de permeabilidad, aunque no es siempre. Por eso aunque la mezcla cumpla con la estabilidad se deben disminuir los

excesos de vacíos, se logra si se aumenta el contenido de polvo mineral o aumentar la densidad de la mezcla.

5. CONTENIDO ALTO DE VACÍOS, BAJA ESTABILIDAD

El contenido de vacíos debe ser disminuido usando los métodos descritos anteriormente, si las condiciones no mejoran se debe de revisar el tipo de agregado.

UTILIZACIÓN DE LAS PRUEBAS DE DISEÑO DE MEZCLAS

Las pruebas de diseño de mezclas son un medio para establecer especificaciones y para saber si la mezcla utilizada cumple con las mismas, tienen cuatro aplicaciones importantes:

PRUEBAS DE DISEÑO PRELIMINAR

Su función principal es determinar si las posibles fuentes de agregados cumplen con las especificaciones de granulometría y con el diseño de mezclas.

PRUEBAS PARA LA ACEPTACIÓN DE LA FUENTE

Su función principal es determinar la combinación más económica que satisfaga también con las especificaciones de granulometría y de diseño de mezclas.

PRUEBAS PARA EL CONTROL DE MEZCLAS DE OBRA Y CONTROL RUTINARIO

Determinan si la mezcla elaborada en obra cumple o no con las especificaciones requeridas, utilizando la fórmula empleada en planta para producir la mezcla final de pavimentación. Esta incluye información sobre la granulometría de los agregados y el contenido de asfalto seleccionado, esto se debe a que es inevitable tener variaciones durante la producción.

Las pruebas para el control de la mezcla de obra son llevadas al comenzar la producción y calibración de la planta.

Las pruebas de control rutinario involucran el muestreo periódico de la mezcla producida en planta, los resultados son comparados con los resultados de las pruebas para control de la mezcla en obra y con las especificaciones globales requeridas, para cuando no se cumpla con los requisitos establecidos se realicen las correcciones pertinentes a la planta, así como cuando lo amerite podrá volverse a evaluar y diseñar la mezcla nuevamente.

CRITERIOS PARA LA COMPACTACIÓN DE CONCRETO ASFÁLTICO

Se usan muestras de diseño preparadas en laboratorio para establecer una densidad de referencia para la mezcla de compactación, algunas de las muestras de la mezcla real son compactadas en el lugar de la obra o en el laboratorio de campo.

Una serie de mediciones son tomadas de una franja de prueba del pavimento terminado, se toman mediante un muestreo de núcleos o el uso de un medidor nuclear de densidad. Se requiere que cada lote de base y superficie compactada sea aceptado, cuando el promedio de cinco medidas de densidad sea igual o mayor que el 96 % y cuando ninguna medida individual sea menos que el 94%, de la densidad promedio de seis muestras separadas en el laboratorio.

MÉTODO MARSHALL DE DISEÑO DE MEZCLAS

Fue desarrollado por Bruce Marshall ex Ingeniero del departamento de asfaltos de carreteras del estado de Mississippi,

El propósito del método es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados, además de proveer de información sobre las propiedades de las mezclas en caliente y establecer densidades y contenidos óptimos de vacíos.

Para su realización se usan probetas de 64 mm (2 ½") de espesor y 101.6 mm (4") de diámetro, cada una con diferentes contenidos de asfaltos pero con la misma combinación de agregados, los datos más importantes del diseño son: un análisis de la relación de vacíos- densidad, y una prueba de estabilidad-flujo de las muestras compactadas.

PREPARACIÓN DEL AGREGADO

Los procedimientos preliminares están enfocados hacia los agregados con el propósito de identificar exáctamente sus características, esto incluye el tener que secar el material para determinar su peso específico y efectuar un análisis granulométrico por lavado.

SECADO DEL AGREGADO

Los ensayos requieren que los agregados a utilizar estén libres de humedad, se secan en el horno a una temperatura de 110°C, se dejan un cierto tiempo, ya calientes se pesan, se vuelven a calentar por segunda vez y se vuelven a pesar, esto se realiza hasta que el peso de la muestra sea constante.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR VÍA HÚMEDA

Es usado para identificar las proporciones de las partículas de tamaño diferente en las muestras del agregado, es importante porque se debe tener un control sobre el tamaño de las partículas para la producción de una mezcla en caliente.

Se realiza el siguiente procedimiento:

- Cada muestra de agregado se seca y se pesa.
- Luego cada muestra es lavada a través de un tamiz de 0.075 mm (No. 200), para remover cualquier polvo mineral que esté cubriendo al agregado.
- Las muestras lavadas son secadas siguiendo el procedimiento de calentado y pesado descrito anteriormente.
- El peso de cada muestra se registra, la cantidad de polvo mineral se determina comparando los pesos registrados de las muestras antes y después del lavado.

DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO

El peso específico de una sustancia es la proporción peso volumen de una unidad de esa sustancia comparada con la proporción de peso-volumen de una unidad igual de agua.

Éste se determina al comparar el peso de un volumen dado de agregado con el peso de un volumen igual al del agua, a la misma temperatura, el peso específico del agregado se expresa en múltiplos del peso específico del agua la cual tiene un valor de 1.

PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS DE ENSAYO

Éstas son preparadas haciendo que cada una contenga una ligera cantidad diferente de asfalto, el margen de contenidos de asfalto usado en las briquetas de ensayo está determinado con base en la experiencia previa de los agregados de la mezcla, este margen le dará al laboratorio un punto de partida para determinar el contenido exacto de asfalto en la mezcla final.

Las muestras son preparadas bajo el siguiente procedimiento:

- El asfalto y el agregado se calientan y mezclan completamente hasta que todas las partículas de agregado queden revestidas.
- Las mezclas asfálticas calientes se colocan en los moldes precalentados Marshall, como preparación para la compactación, es calentado para que no se enfríe la superficie de la mezcla al golpearla.
- Las briquetas son compactadas mediante golpes de martillo Marshall (35, 50 ó 75) depende de la cantidad de tránsito para la que está siendo diseñada, ambas caras de las briquetas reciben el mismo número de golpes, después son enfriadas y extraídas de los moldes.

PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO MARSHALL

Existen 3 tipos de procedimientos Marshall:

- **El peso específico total de cada probeta.** Se determina tan pronto como las probetas recién compactadas se hayan enfriado a la temperatura ambiente (procedimiento norma AASTHO T-166).
- **Ensayos de estabilidad y flujo.** Mide la resistencia a la deformación de la mezcla, mide la deformación bajo carga que ocurre en la mezcla.

El procedimiento es el siguiente:

1. Las probetas son calentadas en un baño de agua a 60°C (140°F), esta temperatura representa la temperatura más caliente que un pavimento en servicio va a experimentar.
2. La probeta es removida del baño, secada y colocada rápidamente en el aparato Marshall, el aparato consiste en un dispositivo que aplica una carga sobre la probeta y unos medidores de carga y deformación (flujo).
3. La carga del ensayo es aplicada a la probeta a una velocidad constante de 51 mm (2") por minuto hasta que la probeta falle. El resultado que se obtiene queda definido como la carga máxima que la briqueta puede resistir.

4. La carga de falla se registra como el valor de estabilidad Marshall y la lectura del medidor de fluencia se registra como flujo.

Valor de la estabilidad Marshall. Es una medida de la carga bajo la cual una probeta cede o falla totalmente, la carga es aplicada lentamente, los cabezales del aparato se acercan y la carga sobre la briqueta aumenta al igual que la lectura en el indicador del cuadrante, luego se suspende la carga una vez que se obtiene la carga máxima, que es el valor de estabilidad Marshall. La estabilidad Marshall indica la resistencia de una mezcla a la deformación.

Valor de flujo Marshall. Representa la deformación de la briqueta, medida en centésimas de pulgada, la deformación está indicada por la disminución en el diámetro vertical de la briqueta.

Las mezclas que tienen valores bajos de flujo y valores muy altos de estabilidad Marshall son consideradas frágiles y rígidas para un pavimento en servicio; aquellas que tienen niveles altos de flujo son consideradas plásticas y tienen tendencia a la deformación con mucha facilidad bajo las cargas de tránsito.

- **Análisis de densidad y vacíos**

Su propósito es determinar el porcentaje de vacíos en la mezcla compactada.

1. *Análisis de vacíos.* Son pequeñas bolsas de aire que se encuentran entre las partículas de agregado revestidas de asfalto, el porcentaje de vacíos se calcula a partir del peso específico total de cada probeta compactada y del peso específico teórico de la mezcla de pavimentación. Este último puede ser calculado a partir de los pesos específicos del asfalto y el agregado de la mezcla, con un margen para tener en cuenta el asfalto absorbido por el agregado o mediante un ensayo normalizado efectuado sobre la mezcla sin compactar. El peso específico de las probetas compactadas se determina pesando las probetas en aire y agua.

2. *Análisis de peso unitario.* El peso unitario promedio para cada muestra se determina multiplicando el peso específico total de la mezcla por 1000 kg/m^3 (62.4 lb/ft^3).
3. *Análisis de VMA.* Los vacíos están definidos por el espacio intergranular de vacíos que se encuentra entre las partículas de agregado de la mezcla de pavimentación compactada, incluyendo los vacíos de aire y el contenido efectivo del asfalto y se expresa como un porcentaje del volumen total de la mezcla, el VMA se calcula en base al peso específico total del agregado y se expresa como un porcentaje del volumen total de la mezcla compactada, puede ser calculado al restar el volumen de agregado (determinado mediante el peso específico total del agregado) del volumen total de la mezcla compactada.
4. *Análisis de VFA.* Los vacíos llenos de asfalto son el porcentaje de vacíos intergranulares entre las partículas del agregado (VMA), que se encuentran llenos de asfaltos. El VMA abarca asfalto y aire, por lo tanto, el VFA se calcula al restar los vacíos de aire del VMA y luego dividiendo por el VMA, y expresando su valor final como porcentaje.

ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO MARSHALL

Los resultados se grafican con la intención de tener una idea más clara del comportamiento de las propiedades de las mezclas, se puede determinar con estas gráficas cual de las probetas cumple mejor con los criterios establecidos para el pavimento determinado.

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO

Se determina mediante la consideración de los resultados obtenidos, tales como: los porcentajes de vacíos, estabilidad, flujo y peso unitario. Lo primero que se toma en cuenta es el contenido de vacíos en porcentaje, después se evalúan las propiedades

calculadas y medidas para este contenido de asfalto y se comparan con los criterios de diseño de asfalto, si no se cumplen los criterios se realizarán ajustes o se volverá a realizar el diseño de la mezcla.

VERIFICACIÓN DE CRITERIOS DE DISEÑO

Los valores recomendados para el diseño de mezcla de granulometría densa por el método Marshall son los siguientes:

- Estabilidad es de 8,000 N (1,800 lb·f)
- Flujo, debe de estar en un rango de 2-3,5 (8 a 14)
- El porcentaje de vacíos llenos de asfalto está entre 65 a 75.
- Los vacíos en la mezcla asfáltica (VMC); % 3 – 5.

3.6 ADHERENCIA DE CONCRETO HIDRÁULICO CON MEZCLA ASFÁLTICA

La unión de superficies de rodamiento generalmente es necesaria cuando la superficie inicial se encuentra muy deteriorada o en algunos casos cuando se cumple con un mantenimiento preventivo rutinario. También es necesaria cuando la textura y acabado final de un pavimento no cumple cabalmente con el objetivo de ser uniforme, resistente, seguro y cómodo; hacemos énfasis en esta última característica ya que las vías carreteras y calles de cualquier ciudad serán transitadas por los usuarios durante varios años, por lo cual es indispensable evitar bordos, rampas, cambios de nivel en las superficies y cualquier tipo de irregularidad en el pavimento a consecuencia de: juntas frías en losas de concreto, hundimientos diferenciales, rodaderas, reparaciones, unión de elementos prefabricados, entre otras causas.

El elemento que provee de adherencia entre capas de pavimento es el riego de liga, comúnmente usado en la estructuración de pavimentos flexibles entre la capa de Base impregnada y la carpeta asfáltica. Sin embargo como se mencionó con anterioridad, la necesidad de ligar superficies de rodamiento va en aumento como consecuencia del empleo de superficies rígidas y flexibles combinadas. Esto se ve maximizado en el caso de puentes y pasos a desnivel ya que generalmente son estructuras con superficie de rodamiento elaboradas con concreto hidráulico recubiertas con mezcla asfáltica.

El caso particular en el que se utilizó este procedimiento constructivo fue en la pavimentación del 2do. Piso del Periférico en el Distrito Federal, por lo cual el desarrollo de este trabajo está enfocado en el comportamiento de una superficie rígida procedente de esa pavimentación, ligada a una carpeta elaborada con mezcla asfáltica.

Se toma como punto de partida este trabajo porque actualmente no existen parámetros que nos permitan evaluar el grado de adherencia entre concreto hidráulico y carpeta asfáltica.

CAPÍTULO 4

RIEGO DE LIGA

4.1 INTRODUCCIÓN

El riego de liga generalmente es realizado con un producto hidrocarbonado que se utiliza para unir ya sea dos capas de material bituminoso o una capa de concreto hidráulico con una de material bituminoso. Su función es mantener unidas las diferentes capas que conforman la estructura del pavimento, ya que de haber una mala adherencia entre ellas existe la posibilidad de un mal comportamiento estructural de la vía de comunicación o un mal desempeño de la estructura.

En algunas ocasiones la mala aplicación en el riego de liga o la inadecuada dosificación traen como consecuencia roturas del pavimento en sus primeros años de vida a consecuencia del deslizamiento entre capas por la falta de unión entre ellas.

Si las capas no están unidas adecuadamente es posible que el agua penetre con mayor facilidad por las fisuras y grietas superficiales, trayendo consigo la reducción de la

vida útil del pavimento, situación que ocurre constantemente en nuestro Estado así como en la mayor parte del territorio nacional, siendo la consecuencia final caminos en malas condiciones, por lo cual la mayor parte de la población se manifiesta inconforme respecto al uso de pavimentos flexibles.

La aplicación del riego de liga debe estar coordinada con la colocación de la capa que se desea agregar a la estructura existente, esto se hace con la finalidad de que el ligante no pierda su efectividad.

Con la intención de establecer un parámetro de referencia entre diferentes técnicas de aplicación del riego de liga, plantearemos una comparación entre la normativa española y la mexicana, lo anterior dará como resultado la comprensión del porque normalmente no funciona apropiadamente esta técnica en nuestro país.

4.2 NORMATIVA ESPAÑOLA

DOTACIÓN DEL LIGANTE

La dotación de la Emulsión Bituminosa a utilizar no será inferior en ningún caso a doscientos gramos por metro cuadrado (200 gr/m²) de ligante residual, ni a doscientos cincuenta gramos por metro cuadrado (250 gr/m²) cuando la capa superior sea una mezcla bituminosa en caliente o una capa de rodadura drenante o una capa de mezcla bituminosa en caliente empleada como rehabilitación superficial de una carretera en servicio.

No obstante el encargado de la obra está en posibilidad de modificar la dotación de acuerdo a las pruebas que realice en la obra.

EQUIPO NECESARIO PARA LA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

El equipo con el cual se efectuará la aplicación del ligante debe estar montado sobre neumáticos, además de ser capaz de proporcionar la cantidad de emulsión dentro de los rangos de temperatura específicos según lo prescrito. El dispositivo regador proporcionará uniformidad transversal suficiente, a juicio del encargado de la obra, y deberá permitir la recirculación en vacío de la emulsión.

Cuando el riego de adherencia se aplique antes de la extensión de una mezcla bituminosa discontinua en caliente, en obras de carreteras con intensidades medias diarias superiores a diez mil (10,000) vehículos/día, o cuando la extensión de la aplicación sea superior a setenta mil metros cuadrados (70,000 m²), en las categorías de tráfico pesado T00 a T1, el sistema de aplicación del riego deberá ir incorporado al de la extensión de la mezcla, de tal manera que de ambos simultáneamente se garantice una dotación continua y uniforme. Análogamente serán preceptivos los requisitos anteriores en capas de rodadura de espesor igual o inferior a cuatro centímetros (4 cm) en especial en

las mezclas bituminosas drenantes cuando se trate de aplicaciones para rehabilitación superficial de carreteras en servicio.

En aplicaciones que cuenten con un tráfico superior a la categoría T2 y en obras de más de 70,000 m², el equipo que se empleará debe contar con rampa de riego.

En casos en los que no sea posible el acceso de los equipos neumáticos a lugares por lo reducido de los espacios, se empleará un equipo portátil, mismo que debe contar con una lanza de mano para solventar la situación.

Si fuera necesario calentar la emulsión, el equipo deberá contar un sistema de calefacción por serpentines sumergidos en la cisterna, la cual deberá ser calorífuga. En todo caso, la bomba de impulsión de la emulsión deberá ser accionada por un motor, y estar provista de un indicador de presión. El equipo también deberá estar dotado de un termómetro para la emulsión, cuyo elemento sensor no podrá estar situado en las proximidades de un elemento calefactor.

PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE EXISTENTE

Antes de iniciar con la aplicación de la emulsión bituminosa, la superficie a tratar debe estar libre de polvo, suciedad, barro y materiales sueltos o perjudiciales. Para ello se utilizarán barredoras mecánicas o máquinas de aire a presión; en lugares inaccesibles a estos equipos se podrá emplear escobas de mano. Se cuidará especialmente de limpiar los bordes de la zona a tratar.

Si la superficie fuera de pavimento bituminoso en servicio, se eliminarán, mediante fresado, los excesos de emulsión bituminosa que hubiese, y se repararán los desperfectos que pudieran impedir una correcta adherencia.

Si la superficie tuviera un riego de curado, una vez transcurrido el plazo de curado, se eliminará éste por barrido enérgico, seguido de soplo con aire comprimido u otro método que garantice la limpieza de la superficie.

APLICACIÓN DE LA EMULSIÓN BITUMINOSA

La aplicación de la emulsión bituminosa será con la dotación y temperatura que determine el responsable de la obra, en base a la extensión y condiciones específicas del tramo, así como en base a su experiencia.

La extensión de ésta se efectuará de manera uniforme, evitando duplicarla en las juntas transversales de trabajo. Para ello se colocarán, bajo los difusores, tiras de papel u otro material en las zonas donde se comience o interrumpa el riego. Donde fuera preciso regar por franjas, se procurará una ligera superposición del riego en la unión de dos contiguas.

Siempre que sea posible se evitará manchar con el ligante elementos como lo son los bordillos, vallas, señales, balizas y otros al aplicar el riego.

LIMITACIONES DE LA EJECUCIÓN

La principal limitante es la temperatura, ésta tendrá que ser superior a los 10°C, además de tener la certeza de que no ocurrirán precipitaciones pluviales durante la aplicación del riego. Cabe señalar que si el responsable de la obra lo considera conveniente el riego se puede aplicar a una temperatura de 5°C, pero siempre y cuando la temperatura vaya en aumento.

El riego de liga queda sujeto a la aplicación de la siguiente capa bituminosa sobre él, inmediatamente después de que haya roto la emulsión, pero teniendo el cuidado de que la emulsión no pierda sus propiedades como elemento de unión.

Queda estrictamente prohibida la circulación vehicular y peatonal sobre el riego de adherencia, hasta que se compruebe que la emulsión haya roto apropiadamente.

CONTROL DE CALIDAD

Se considerará como lote, que se aceptará o rechazará en bloque, al de menor tamaño de entre los resultantes de aplicar los tres criterios siguientes:

- Quinientos metros de calzada
- Tres mil quinientos metros cuadrados de calzada
- La superficie regada diariamente.

Para la comprobación de la dotación de emulsión bituminosa se realizará el pesaje de bandejas metálicas u hojas de papel, o de algún material similar, éstos se colocarán sobre la superficie durante la aplicación de la emulsión, en al menos 5 puntos de la superficie total, pero de preferencia se colocarán en más puntos. El resultado al que se pretende llegar es a conocer el contenido de ligante residual.

El responsable de la obra tiene la oportunidad de emplear otro método para comprobar la dotación media de emulsión bituminosa.

La temperatura se medirá en la superficie a tratar, en la emulsión antes de aplicar, así como la del medio ambiente, mediante el uso de termómetros, mismos que se deben ubicar alejados de cualquier elemento calefactor que pueda variar las mediciones.

CRITERIOS DE ACEPTACIÓN O RECHAZO

La dotación media del ligante residual no deberá ser diferente con respecto a lo previsto en más de un 15%. No más de una de las pruebas ensayadas podrá presentar resultados por encima de los límites fijados.

Queda a consideración del responsable de la obra el uso de los lotes que no cumplan con los criterios antes señalados.

MEDICIÓN Y ABONO

La emulsión bituminosa empleada en riegos de liga se abonará por toneladas, realmente empleadas y pesadas en una báscula contrastada, o bien por superficie regada multiplicada por la dotación media de lote. El abono incluirá el de la preparación de la superficie existente y el de la aplicación de la emulsión.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y DISTINTIVOS DE CALIDAD

El cumplimiento de las especificaciones técnicas obligatorias requeridas a los productos contemplados en este artículo, se podrá acreditar por medio del correspondiente certificado que, cuando dichas especificaciones estén establecidas exclusivamente por referencia a normas, podrá estar constituido por un certificado de conformidad a dichas normas.

Si los referidos productos disponen de una marca, sello o distintivo de calidad que asegure el cumplimiento de las especificaciones técnicas obligatorias de éste artículo, se reconocerá como tal cuando dicho distintivo esté homologado por la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento.

El certificado acreditativo del cumplimiento de las especificaciones técnicas obligatorias de éste artículo podrá ser otorgado por las Administraciones Públicas competentes en materia de carreteras, la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento (según ámbito) o los Organismos españoles públicos y privados autorizados para realizar tareas de certificación o ensayos en el ámbito de los materiales, sistemas y procesos industriales, conforme al Real Decreto.

4.3 NORMA MEXICANA N-CTR-CAR-1-04-005/00

DEFINICIÓN

El riego de liga 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.

MATERIALES

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

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.

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.

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:

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, 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.

BARREDORAS MECÁNICAS

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

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.

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:

DOSIFICACIÓN DE MATERIALES

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.

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.

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:

- Sobre superficies con agua libre o encharcadas.
- Cuando exista amenaza de lluvia o esté lloviendo.

- Cuando la velocidad del viento impida que la aplicación del material asfáltico sea uniforme.
- Cuando la temperatura de la superficie sobre la cual serán aplicados esté por debajo de los quince (15) grados Celsius.
- 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.

TRABAJOS PREVIOS

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.

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.

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.

APLICACIÓN DEL MATERIAL ASFÁLTICO

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

- 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.
- 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 ($\frac{2}{3}$) partes de la base del abanico de la boquilla contigua (*cubrimiento triple*), como se muestra en la Figura 4.1 “Aplicación del material asfáltico”.
- 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 ($\frac{1}{2}$) o dos tercios ($\frac{2}{3}$) 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 4.1 “Aplicación del material asfáltico”, con el propósito de que la dosificación del producto asfáltico en la orilla de la franja precedente sea la indicada en el proyecto.
- 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.
- 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.

- 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.

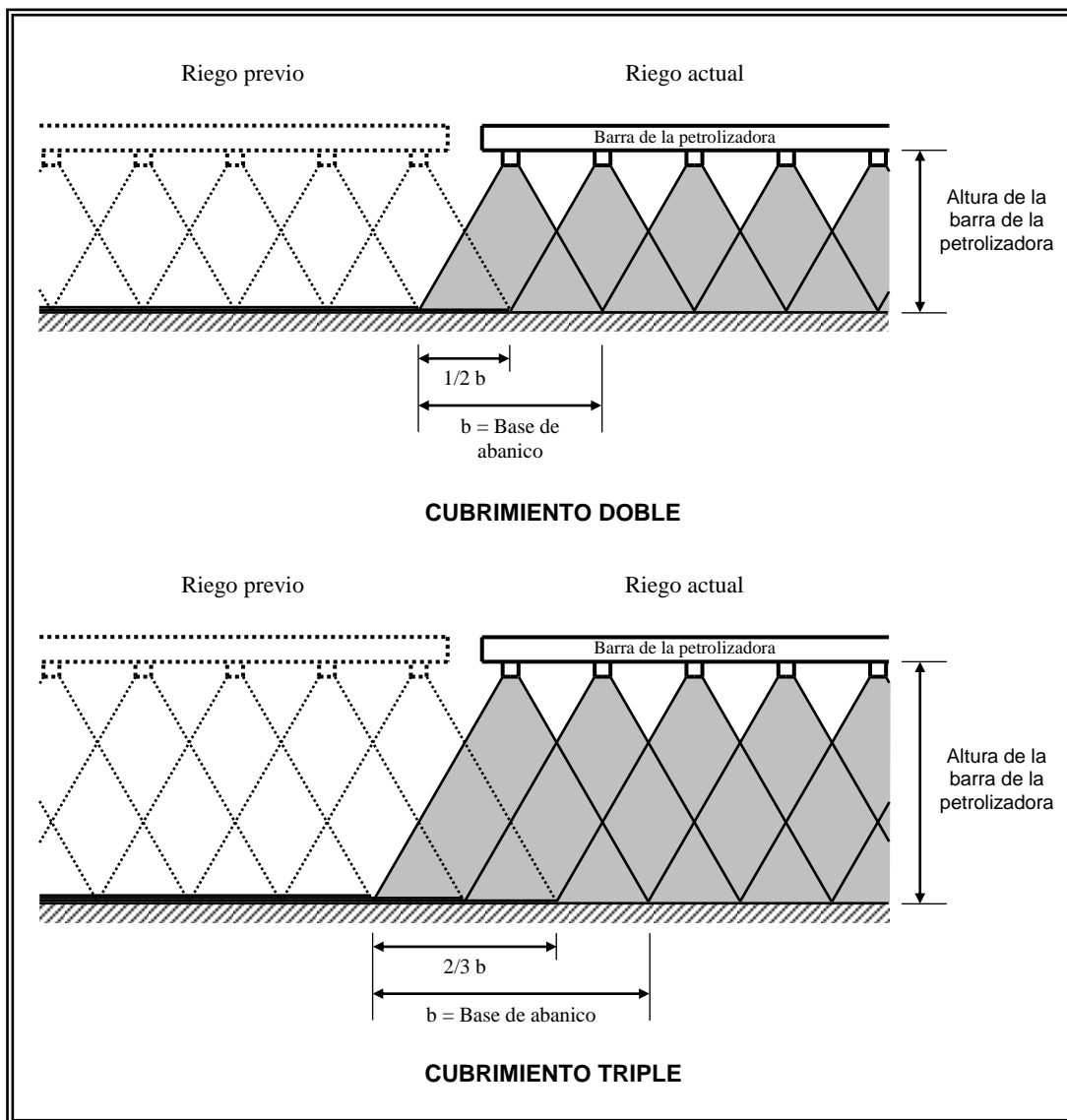


FIGURA 4.1

APLICACIÓN DEL MATERIAL ASFÁLTICO

FUENTE <NORMA N-CTR-CAR-1-04-005/00, SCT>

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.

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.

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*.

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*.

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*.

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*.

4.4 OBSERVACIONES A LA NORMATIVA MEXICANA

La norma anterior N-CTR-CAR-1-04-005/00 que habla del riego de liga, tiene algunas carencias, entre las que podemos mencionar:

- No hace ninguna especificación acerca del tipo de material que se utilizará.
- No establece la dosificación necesaria de emulsión, por consiguiente no se cuenta con un parámetro mínimo o máximo del material a utilizar y esto puede ocasionar que no exista una adecuada liga en todo punto o que exista afloramiento de asfalto a través de la mezcla.
- La selección del equipo adecuado para la aplicación del riego de liga se deja a consideración del contratista, lo que puede llevar a una inadecuada aplicación de la emulsión.
- No menciona el tiempo que debe transcurrir previo a la colocación de la carpeta asfáltica y el posterior al riego de impregnación para la aplicación de la emulsión.
- No se menciona ninguna prueba que nos permita medir la efectividad del riego de liga para unir dos capas de pavimento.

CAPÍTULO 5

EMULSIONES ASFÁLTICAS

5.1 INTRODUCCIÓN

Las emulsiones asfálticas son el producto de la fragmentación en pequeñas partículas del cemento asfáltico, las cuales posteriormente se dispersan en agua por medio de un emulsificante, el cual polariza a las partículas de asfalto.

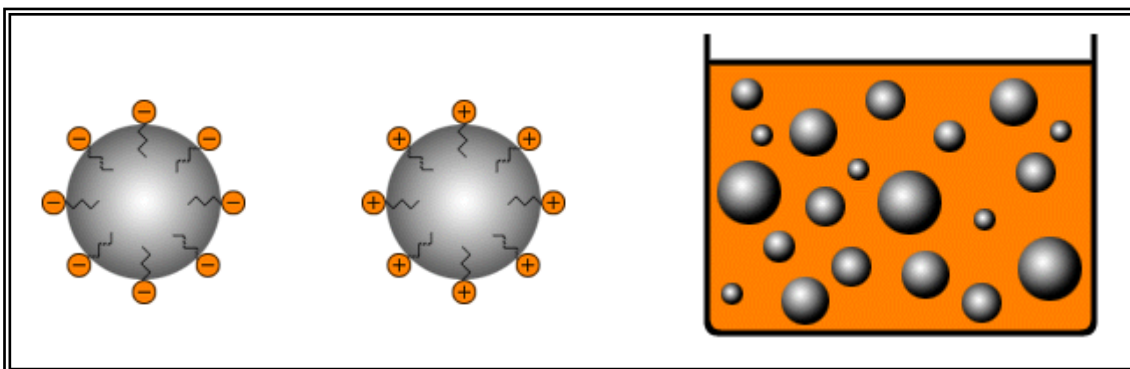


FIGURA 5.1
ESQUEMA DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA

Fuente <www.icc.ucv.cl>

El uso de las emulsiones se inició en el año 1900, en 1905 se empleó por primera vez en la construcción de carreteras en la ciudad de New York, para evitar el polvo cuando transitaban los vehículos por los caminos; posteriormente fueron evolucionando y a partir del año de 1920 se empezaron a utilizar las que actualmente se conocen. Sin embargo, en los primeros años su uso y aplicación se dieron muy lento, ya que no se contaba con los suficientes conocimientos sobre su funcionamiento y aplicación.

En México las emulsiones se empezaron a utilizar de 1930 a 1935 para la construcción de caminos, sin embargo debido al tiempo de rompimiento de la emulsión, se tuvieron muchos problemas en la época de lluvias, causando con ello retrasos y la consiguiente elevación de costos.

5.2 CLASIFICACIÓN DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS

De acuerdo a las cargas eléctricas que rodean las partículas de asfalto, las emulsiones se clasifican en 3 tipos:

- Catiónicas
- Aniónicas
- No iónicas

Las emulsiones catiónicas y aniónicas se utilizan generalmente en la construcción y mantenimiento de las carreteras, mientras que las no iónicas se emplean para el avance tecnológico de las emulsiones.

En función de su estabilidad o capacidad de volver a ser cemento asfáltico, las emulsiones se clasifican en:

- Rompimiento rápido
- Rompimiento medio
- Rompimiento lento

Las de rompimiento rápido tienen poca o ninguna capacidad para mezclarse con los pétreos y generalmente se utilizan para riegos de liga o carpetas por sistemas de capas; las de rompimiento medio se utilizan para mezclarse con agregados gruesos en carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta, en trabajos de conservación como bacheo, renivelaciones y sobrecarpetas; y las de rompimiento lento se utilizan para mezclarse con agregados finos, en las mezclas en frío elaboradas en planta y para estabilizaciones asfálticas.

En el proceso de rotura de la emulsión el agua se evapora y el asfalto recupera su consistencia original, ya que los glóbulos se vuelven a unir, actuando como cementante de los agregados pétreos.

La estabilidad de la emulsión se debe a la carga eléctrica del material pétreo, ya que neutraliza la carga de las partículas de asfalto en la emulsión, las cuales se acercan unas con otras formando agregados más grandes para posteriormente colocarse en el material pétreo formando una capa asfáltica.

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes clasifica a las emulsiones de acuerdo a su contenido de cemento asfáltico en masa y su polaridad, dicha clasificación se puede observar en la siguiente tabla:

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 5.1
**CLASIFICACIÓN DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS CON RESPECTO A
 SU CONTENIDO DE CEMENTO ASFÁLTICO Y SU TIPO DE POLARIDAD**

FUENTE <NORMA N-CMT-4-05-001/00, SCT>

5.3 COMPOSICIÓN DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS

Una emulsión está compuesta básicamente por 3 elementos:

- Cemento asfáltico.
- Agua.
- Agente emulsificante (con o sin estabilización).

El cemento asfáltico es el ingrediente básico de la emulsión y generalmente representa entre el 55 y 70% de la emulsión, la mayoría de las emulsiones se realizan con asfalto cuya penetración oscila entre los 100 y 250 x 10⁻¹ mm.

El agua debe ser considerablemente limpia y pura, ya que proporciona humedad, capacidad de disolución, adherencia a otras sustancias y modera las reacciones químicas.

El emulsificante influye notablemente en la producción de la emulsión, debe ser compatible con el cemento asfáltico, ya que de esto depende la estabilidad de la emulsión, además de que es quien determina si la emulsión es catiónica, aniónica o no iónica; mantiene los glóbulos del asfalto en suspensión estable y permite su oportuna rotura. Como agente emulsificante se pueden utilizar productos derivados de la madera, como los ácidos grasos, aminas grasas, sales cuaternarias de amonio, etc.

5.4 PRODUCCIÓN DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS

Durante la emulsificación se separa mecánicamente el cemento asfáltico caliente en diminutos glóbulos, los cuales se dispersan en agua tratada con el agente emulsificante. En este sistema el agua queda como fase continua y los glóbulos de asfalto como fase dispersa.

Para la fabricación de la emulsión se utiliza un molino coloidal, el cual divide el asfalto en pequeños glóbulos, un tanque de solución del emulsificante, un tanque calentador de asfalto, medidores de flujo y bombas separadas para medir el asfalto y la solución emulsificante en el molino coloidal.

El emulsificante puede ser combinado con el agua o con el cemento asfáltico antes de introducirse al molino coloidal.

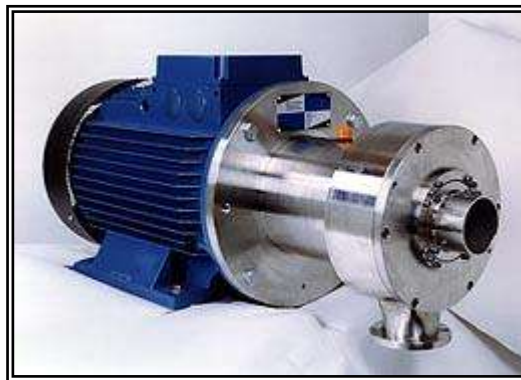


FIGURA 5.2

MOLINO COLOIDAL

Fuente <www.icc.ucv.cl>

Al pasar por el molino coloidal el asfalto y el emulsificante se someten a intensos esfuerzos de corte, entonces la emulsión recién formada puede bombearse a través de un intercambiador térmico. El exceso de calor se utiliza para elevar la temperatura del agua

emulsificante entrada, antes de llegar al molino coloidal. Posteriormente se bombea la emulsión del intercambiador térmico a tanques de almacenamiento en bruto; en ocasiones estos tanques están equipados con algún dispositivo de agitación, el cual es el encargado de mantener el producto uniformemente mezclado.

El cemento asfáltico calentado que es la base de la emulsión, alimenta al molino coloidal, donde posteriormente es diluido en pequeños glóbulos. Al mismo tiempo, entra el agua con el agente emulsificante al molino coloidal. Para garantizar una baja viscosidad del asfalto, éste es calentado conforme entra al molino coloidal, ajustando respectivamente la temperatura del agua. La variación de las temperaturas depende de las características particulares del cemento asfáltico emulsificado y de su compatibilidad con el agente emulsificante; dichas temperaturas deben estar por debajo del punto de ebullición del agua.

5.5 REQUISITOS DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS

De acuerdo a la Norma N-CTM-4-05-001/00 de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, las emulsiones asfálticas deben cumplir con las siguientes características:

EMULSIONES 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 ^{II})	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

TABLA 5.2
REQUISITOS DE CALIDAD PARA EMULSIONES ASFÁLTICAS ANIÓNICAS
FUENTE <NORMA N-CMT-4-05-001/06, SCT>

EMULSIONES CATIÓNICAS

Características	Clasificación						
	ECR-60	ECR-65	ECR-70	ECM-65	ECL-65	ECL-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 ^[1])	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.

TABLA 5.3

REQUISITOS DE CALIDAD PARA EMULSIONES ASFÁLTICAS CATIÓNICAS

FUENTE <NORMA N-CMT-4-05-001/06, SCT>

5.6 PRUEBAS QUE SE REALIZAN A LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS

Es importante realizar pruebas de laboratorio a muestras de emulsiones asfálticas, ya que con ello se pueden medir propiedades relacionadas con la manipulación, almacenamiento y su uso en la obra; controlar la calidad y uniformidad del producto durante su producción y aplicación; así como predecir o controlar su comportamiento en campo. Entre las principales pruebas que se realizan a las emulsiones asfálticas podemos mencionar:

VISCOSIDAD SAYBOLT-FUROL. A 25 y 50° C (NORMA M-MMP-4-05-004/00)

La viscosidad se define como la resistencia que presenta un líquido a fluir. En las emulsiones asfálticas se utiliza como una prueba de resistencia, se manejan estas 2 temperaturas por conveniencia y precisión de la prueba, ya que es la temperatura normal de trabajo.

DESTILACIÓN DE EMULSIONES ASFÁLTICAS (NORMA M-MMP-4-05-012/00)

Con esta prueba se obtiene el contenido de agua y disolventes que presenta la emulsión cuando se calienta a 260°C; separándola del residuo asfáltico, al cual se le efectúan pruebas de penetración, ductilidad y solubilidad para saber como le afecta la temperatura al cemento asfáltico.

ASENTAMIENTO DE EMULSIONES ASFÁLTICAS (NORMA M-MMP-4-05-013/02)

Nos ayuda a conocer la homogeneidad que presentan los productos al ser almacenados, la prueba consiste en dejar reposar durante 5 días a temperatura ambiente el producto asfáltico, y determinar las diferentes concentraciones de asfalto a distintos niveles de la muestra.

RETENIDO EN LAS MALLAS No. 20 y No. 60 EN EMULSIONES ASFÁLTICAS (NORMA M-MMP-4-05-014/02)

Esta prueba complementa la prueba de sedimentación, y nos indica si la emulsión presenta glóbulos de un tamaño muy grande que no se detectaron en la prueba de sedimentación y que pueden obstruir el equipo de rociado, además de que dichos glóbulos no cubren uniformemente al agregado pétreo; el procedimiento consiste en hacer pasar el asfalto o emulsión por la malla No. 20 y No. 60 y se calculan los porcentajes que se retiene en ellas.

CUBRIMIENTO DEL AGREGADO EN EMULSIONES ASFÁLTICAS (NORMA M-MMP-4-05-015/00)

Con esta prueba se estima que tanta afinidad existe entre la emulsión y el pétreo, nos permite observar como se porta esta unión ante la acción del agua. La prueba consiste en someter a un proceso de lavado con agua a la mezcla de emulsión asfáltica y material pétreo húmedo o seco, preferentemente de origen calizo, para estimar el porcentaje de asfalto que cubre al pétreo, siendo un valor mínimo el 75%. La prueba mediante el rompimiento de la emulsión, permite identificar el tipo de ésta, y puede utilizarse para conocer características de adhesividad de las emulsiones con otros materiales pétreos de distinto origen.

MISCIBILIDAD CON CEMENTO PÓRTLAND (NORMA M-MMP-4-05-016/00)

Con esta prueba podemos conocer la estabilidad de la emulsión asfáltica de rompimiento lento al mezclarlo con material fino. La prueba consiste en mezclar la emulsión con cemento Pórtland y agua destilada, para posteriormente cribar la mezcla por las mallas No. 4 (1.8 mm) y No. 14 (1.4 mm), determinándose el retenido en cada una de las mallas, sin que formen grumos los materiales.

CARGA ELÉCTRICA DE LAS PARTÍCULAS DE EMULSIONES ASFÁLTICAS (NORMA M-MMP-4-05-017/00)

Se efectúa para identificar la polaridad de los glóbulos de asfalto en una emulsión, teniendo carga eléctrica negativa las aniónicas y positiva las catiónicas. Se aplica una carga de 8 mil amperes mediante dos electrodos y la emulsión se irá hacia el lado que presente carga contraria a la que ella tenga.

DEMULSIBILIDAD DE EMULSIONES ASFÁLTICAS (NORMA M-MMP-4-05-018/00)

Con esta prueba podemos saber la velocidad relativa a la cual los glóbulos coloidales de asfalto en emulsiones de rompimiento rápido, rompen al extenderlos en películas delgadas sobre el suelo o agregado; además, nos da una idea del tiempo adecuado para incorporar las emulsiones durante la elaboración de las mezclas asfálticas. El procedimiento consiste en determinar el porcentaje de material asfáltico de la emulsión diluida con una solución de cloruro de calcio o de dioctil sulfosuccinato de sodio, según su carga eléctrica, que se retiene en la malla de No. 14 (1.4 mm), respecto al residuo asfáltico de la emulsión.

ÍNDICE DE RUPTURA DE EMULSIONES ASFÁLTICAS CATIÓNICAS (NORMA M-MMP-4-05-019/00)

Esta prueba permite determinar la cantidad de material fino sílico necesario para hacer romper 100 g de emulsión asfáltica catiónica.

Durante la ejecución de la obra también se debe controlar la calidad de los materiales asfálticos, esto se logra mediante la realización de las pruebas descritas anteriormente, verificando las siguientes características:

Emulsiones asfálticas
En la emulsión:
<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
En el residuo de la destilación
<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

TABLA 5.4
CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD QUE SE REVISARÁN EN LAS
EMULSIONES ASFÁLTICAS DURANTE LA EJECUCIÓN DE LA OBRA
FUENTE <NORMA N-CMT-4-05-001/06, SCT>

5.7 USO DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS

Debido a la característica de termoplaticidad que tiene el asfalto es posible darle distintos usos ingenieriles; las emulsiones asfálticas catiónicas pueden emplearse en los siguientes casos:

- Usos generales de la construcción
- Juntas para pavimentos hidráulicos
- Adhesivos
- Selladores
- Impermeabilizantes
- Recubrimiento de tubería especial
- Para tratamientos superficiales, para pavimentos asfálticos, en carreteras y aeropistas como:
 - Riegos de impregnación
 - Riegos de imprimación o penetración
 - Riegos negros con emulsión diluida
 - Riegos de liga***
 - Riegos de sello con arena o gravilla seleccionada.
- Morteros asfálticos o slurry seal (sólo con emulsiones asfálticas)
- Bacheo
- En la masa o mezcla asfáltica, para carreteras y aeropistas
- Mezcla cerrada y mezcla abierta
- Grava - emulsión y arena – emulsión
- Penetración
- Impregnación

5.8 EMULSIONES ASFÁLTICAS MODIFICADAS

Los asfaltos pueden ser modificados para mejorar sus características reológicas, de elasticidad, adherencia, resistencia a la tracción y la susceptibilidad térmica.

Los asfaltos modificados con polímeros están constituidos por dos fases, una formada por pequeñas partículas de polímero hinchado y la otra por asfalto. En las composiciones de baja concentración de polímeros existe una matriz continua de asfalto en la que se encuentra disperso el polímero; pero si se aumenta la proporción de polímero en el asfalto se produce una inversión de fases, estando la fase continua constituida por el polímero hinchado y la fase discontinua corresponde al asfalto que se encuentra disperso en ella.

Esta micromorfología bifásica y las interacciones existentes entre las moléculas del polímero y los componentes del asfalto parecen ser la causa del cambio de propiedades que experimentan los asfaltos modificados con polímeros.

El efecto principal de añadir polímeros a los asfaltos es el cambio en la relación viscosidad-temperatura, permitiendo mejorar de esta manera el comportamiento del asfalto tanto a bajas como a altas temperaturas.

A continuación se describen algunos de los polímeros que se pueden utilizar en la fabricación de las emulsiones asfálticas modificadas

TIPO DE MODIFICADOR	EJEMPLO
ELASTÓMEROS	NATURAL
	SBS
	SBR
	EPDM
	PBD

PLASTÓMEROS	EVA
	EMA
	PE
	PP
	POLIESTIRENO

TABLA 5.5

CLASIFICACIÓN DE LOS POLÍMEROS QUE SE UTILIZAN PARA LA MODIFICACIÓN DE ASFALTOS

FUENTE <WWW.MONOGRAFIAS.COM/TRABAJOS15/ASFALTOS-MODIFICADOS/ASFALTOS-MODIFICADOS.SHTML>

ELASTÓMEROS:

Al estirarlos, vuelven a su posición original, es decir, son elásticos. Dentro de estos podemos encontrar:

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

PLASTÓMEROS:

Al estirarlos se sobrepasa la tensión de fluencia, no volviendo a su longitud original al cesar la sollicitación. Tienen deformaciones pseudoplásticas con poca elasticidad. Dentro de estos tenemos:

- **EVA:** Etileno-acetato de vinilo.
- **EMA:** Etileno-acrilato de metilo
- **PE:** (polietileno) tiene buena resistencia a la tracción y buena resistencia térmica, como también buen comportamiento a bajas temperaturas.
- **PP:** (Polipropileno).
- **Poliestireno:** No son casi usados.

De acuerdo a la Norma N-CMT-4-05-002/06 “*Calidad de materiales asfálticos modificados*” de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, los principales modificadores de asfalto se clasifican en:

- **Polímero tipo I.** Mejoran el comportamiento de mezclas asfálticas tanto para altas como a bajas temperaturas, se fabrican con bloques de estireno, en polímeros elastoméricos radiales de tipo bibloque o tribloque como los SBS, SB, entre otros.
- **Polímero tipo II.** Mejora el comportamiento de las mezclas asfálticas a bajas temperaturas, se fabrica con base en polímeros elastoméricos lineales, mediante una configuración de caucho de Estireno, Butadieno – Látex o Neopreno – Látex.
- **Polímero tipo III.** Mejora la resistencia al ahuellamiento de las mezclas asfálticas, disminuye la susceptibilidad del cemento asfáltico a la temperatura y mejora su comportamiento a altas temperaturas; se fabrica con un polímero de tipo elastómero, mediante configuraciones como EVA, o poliestireno de alta o baja densidad tipo HDPE, LDPE, entre otras.

- **Hule Molido de neumáticos.** Mejora la resistencia a la flexibilidad y resistencia a la tensión de las mezclas asfálticas; se fabrica con el producto de la molienda de neumáticos.

En la siguiente tabla se presentan las características que deben cumplir las emulsiones elaboradas con asfaltos AC-5 y modificada con polímeros tipo I y III.

CARACTERÍSTICAS	VALOR
Contenido de cemento asfáltico en masa; %, mínimo	60
Viscosidad Saybolt – Furol a 50°C; s	50 – 200
Asentamiento en 5 días; diferencia en %, máximo	3
Retenido de peso en malla No. 20 en la prueba del tamiz; % máximo	0.1
Carga eléctrica de las partículas	(+)
Disolvente en volumen; %, máximo	3
Demulsibilidad; % mínimo	60
Índice de ruptura	80 – 140

TABLA 5.6
**REQUISITOS DE CALIDAD PARA EMULSIÓN ASFÁLTICA MODIFICADA,
 ELABORADA CON ASFALTO AC-5 Y MODIFICADA CON POLÍMEROS TIPO I Y III**
 FUENTE <NORMA N-CMT.4-05-002/01>

Para que los asfaltos con polímeros consigan las prestaciones óptimas, se debe seleccionar cuidadosamente el asfalto base (es necesario que los polímeros sean compatibles con el material asfáltico), el tipo de polímero, la dosificación, la elaboración y las condiciones de almacenaje.

Cada polímero tiene un tamaño de partícula de dispersión óptima para mejorar las propiedades reológicas, donde por encima de esta el polímero solo actúa como un filler; y

por debajo de esta, pasan a estar muy solubilizados y aumentan la viscosidad, sin mejorar la elasticidad y la resistencia.

Los polímeros compatibles producen rápidamente un asfalto estable, sistemas convencionales de preparación de asfaltos modificados con polímeros, que consisten en grandes recipientes de mezclado con paletas agitadoras a velocidades lentas, o recipientes especiales que favorecen la recirculación con agitadores mecánicos de corte de gran velocidad.

El polímero puede venir en polvo, en forma de pequeñas bolitas (pellets) o en grandes panes. La temperatura de mezclado depende del tipo de polímero utilizado.

5.9 VENTAJAS DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS MODIFICADAS

Algunas propiedades que el asfalto modificado mejora respecto del asfalto convencional son:

- Mayor intervalo de plasticidad
- Mayor cohesión.
- Mejora de la respuesta elástica.
- Mayor resistencia a la acción del agua.
- Mayor resistencia al envejecimiento.

Las propiedades que estos imparten dependen de los siguientes factores:

- Tipo y composición del polímero incorporado.
- Característica y estructura coloidal del asfalto base.
- Proporción relativa de asfalto y polímero.

CAPÍTULO 6

FASE EXPERIMENTAL EN LABORATORIO

6.1 INTRODUCCIÓN

Como se mencionó con anterioridad el riego de liga tiene la función de unir dos capas de mezcla asfáltica, o en algunos casos una capa de mezcla asfáltica con una de concreto hidráulico, garantizando de esta manera el desempeño adecuado de la estructura de pavimentación, consiguiendo así una prolongación de la vida útil de las capas. Desafortunadamente en nuestro país no contamos con una normativa específica enfocada a la medición de la efectividad tanto de los riegos como de los diferentes productos asfálticos empleados en el riego de liga.

Ante esta situación surge la inquietud de analizar una emulsión asfáltica, usada como riego de liga, que posteriormente se modificará con polímeros, todo esto mediante el Ensayo de Corte Directo LCB. Este ensayo nos servirá como parámetro para medir el grado de adherencia entre un concreto hidráulico y una mezcla asfáltica al verse modificadas las propiedades del riego de liga que las une, así como variando las condiciones de superficie y de humedad.

6.2 ESTUDIO DE LABORATORIO

INTRODUCCIÓN

El Ensayo de Corte Directo LCB fue desarrollado en la Universidad Politécnica de Cataluña, España, con la finalidad de conocer la efectividad de los riegos de liga. Éste método consiste en aplicar una fuerza cortante a dos probetas unidas mediante un riego de liga, para de esta manera realizar la medición de la resistencia que oponen las probetas a las fuerzas tangenciales actuantes.

En la siguiente figura se ilustra el procedimiento para la prueba y el esquema de fuerzas actuantes.

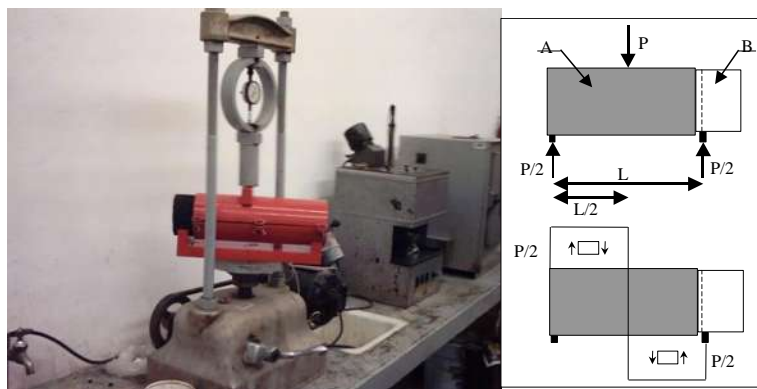


FIGURA 6.1

ENSAYO DE CORTE DIRECTO LCB Y ESQUEMA DE FUERZAS QUE ACTÚAN EN EL SISTEMA

Las variantes del método que se aplicarán para este caso específico son: ensayo en seco y tras inmersión en agua, además de los casos con superficie lisa y superficie rugosa.

Como resultado de la aplicación del método verificaremos la efectividad de los riegos asfálticos de liga y la manera en que, se ven o no afectadas las propiedades de adherencia de los mismos mediante la adición de polímeros.

PLAN DE TRABAJO

Además del tipo de emulsión asfáltica utilizada como riego de liga en un pavimento, existen otros factores que juegan un papel determinante en el comportamiento de la unión entre una capa de concreto hidráulico y una mezcla asfáltica, entre los más importantes se encuentra el acabado de la superficie de concreto (lisa o rugosa), y el otro es el efecto perjudicial ocasionado por la presencia del agua, debido a que disminuye la capacidad de adherencia del riego.

Tomando en cuenta estos factores, se decidió realizar una serie de pruebas que los involucren directamente, por lo cual se analizará una emulsión asfáltica usada como riego de liga, en su forma comercial y modificada con polímeros, misma que se aplicará sobre probetas con superficie lisa y superficie rugosa, además de las condiciones de humedad en su modalidad de en seco y tras inmersión en un baño de agua a 60° C durante 24 horas.

En las tablas 6.1 y 6.2 se presenta la descripción de las variantes de ensayo y el número de probetas a ensayar durante este trabajo.

Empleando emulsión Aniónica C.A. al 61 %		
No.de Probeta	Modalidad de ensayo	Superficie de concreto
1	Tras inmersión	lisa
2	Tras inmersión	lisa
3	Tras inmersión	rugosa
4	En seco	lisa
5	En seco	rugosa
6	En seco	rugosa

TABLA 6.1
PROBETAS ENSAYADAS CON AC-20 CONVENCIONAL

Empleando emulsión Aniónica C.A. al 61 % con polímero		
No.de Probeta	Modalidad de ensayo	Superficie de concreto
7	Tras inmersión	lisa
8	Tras inmersión	lisa
9	Tras inmersión	rugosa
10	En seco	lisa
11	En seco	rugosa

TABLA 6.2
PROBETAS ENSAYADAS CON AC-20 MODIFICADO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

A continuación se describen los pasos que se siguieron para preparar las muestras que fueron sometidas al Ensayo de Corte Directo LCB.

Preparación de la superficie de ensayo:

- Como primer paso se adquirieron 11 cilindros de concreto hidráulico con un $F'c = 450$ kg/cm², procedentes de la obra en construcción del Segundo Piso del Periférico en el Distrito Federal.
- Los cilindros de concreto fueron cortados con una extractora de corazones, con lo que se consiguieron especímenes de 4" de diámetro; medida que corresponde a los moldes de acero que habitualmente se utilizan para el Ensayo de Corte Directo LCB.

- Una vez que los cilindros de concreto contaban con un diámetro de 4" y una altura de 15 cm se colocaron dentro de los moldes. Es importante mencionar que fue necesario colocar calces de PVC entre los cilindros de concreto y los moldes, para lograr un ajuste perfecto entre los mismos, y de esta forma evitar movimientos o vibraciones indeseables tanto en la fabricación de especímenes como al momento de ensayarlos.
- La textura superficial lisa de los cilindros de concreto se obtuvo por medio de un disco de corte de concreto. Para lograr la textura superficial rugosa de los cilindros fue necesario golpear con cincel y martillo.

En la figura 6.2 se observan los moldes de acero para Ensayos de Corte Directo LCB. Los moldes cuentan con seis (6) ajustadores atornillables en sus costados con los que se logra inducir presión a los cilindros de concreto.



FIGURA 6.2

MOLDES DE ACERO PARA ENSAYOS DE CORTE DIRECTO LCB

Colocación del Riego de Liga

Una vez preparada la superficie de los cilindros de concreto, éstos se colocaron dentro de los moldes, se aplicó el riego de liga con la emulsión aniónica C.A. al 61% y modificada con polímeros sobre la cara superior de cada cilindro respectivamente de acuerdo a lo indicado en las tablas 6.1 y 6.2

La dosificación fue de 300 gr/m², tomando la consideración de una área efectiva de 81cm² por cada superficie de cilindro.

Colocación y compactación de la capa de mezcla asfáltica sobre el riego de liga.

- Después de colocar el riego de liga y una vez que rompe la emulsión se procede a la colocación de la mezcla asfáltica en caliente dentro del molde para ser compactada.
- Para realizar la mezcla asfáltica se utilizó material pétreo producto de trituración, procedente de un banco de material ubicado en la carretera Morelia-Salamanca. Este material cumple con la normativa de SCT referente a la fabricación de mezclas asfálticas. Tabla 6.3.
- La granulometría empleada corresponde a una mezcla densa para carpetas asfálticas con tamaño máximo de ½" de acuerdo con la norma SCT N·CMT·4·04·03, en la tabla 6.3 se presentan los valores considerados en estudio.
- En cuanto a la utilización del asfalto para la mezcla densa, se utilizó un 5.5% del peso del material pétreo. El asfalto es un AC-20 convencional, procedente de la planta de Salamanca Guanajuato.

Malla		Tamaño nominal del pétreo N-CMT-4-04-03	Granulometría utilizada
Abertura (mm)	Designación	12.5 mm (1/2") Porcentaje que pasa	
12.5	1/2"	100	100
9.5	3/8"	90-100	95
6.3	1/4"	70-81	75.5
4.75	No.4	56-69	62.5
2	No.10	28-42	35
0.85	No.20	18-27	22.5
0.425	No.40	13-20	16.5
0.25	No.60	10-15	12.5
0.15	No.100	6-12	9
0.075	No.200	2-7	4.5

TABLA 6.3
VALORES GRANULOMÉTRICOS CONSIDERADOS EN EL ESTUDIO

- Para realizar la compactación es necesario introducir una varilla para dar un acomodo en la mezcla y posteriormente colocar el pizón Marshall dentro del molde y dar 75 golpes sobre la mezcla asfáltica para lograr dejar una capa compacta sobre el riego de liga, en la figura 6.3 se muestra una probeta fuera del molde de acero y otra lista para ser ensayada.



FIGURA 6.3
PROBETA FUERA DEL MOLDE DE ACERO Y PROBETA LISTA PARA SER ENSAYADA

Preparación de las variantes de la prueba

En cuanto a las variantes de la prueba, se mencionó con anterioridad la manera en que se dio texturas distintas a los cilindros de concreto. Respecto a la otra variante fue necesario ensayar cinco (5) probetas en seco y seis (6) probetas en un baño de agua a 60° C. durante 24 horas, con la intención de inducirle las condiciones desfavorables que ocasiona el exceso de agua al material ligante.



FIGURA 6.4
PROBETAS EN SECO Y TRAS INMERSIÓN, RESPECTIVAMENTE

Ensayo

El procedimiento de ensayo de las probetas consiste en introducir el cilindro de concreto hidráulico ligado a la mezcla asfáltica dentro del molde de acero. Es importante verificar que únicamente quede fuera del molde la pastilla de mezcla asfáltica. Acto seguido se coloca el molde en posición horizontal sobre la prensa Marshall, misma que se activa para inducirle carga sobre la pastilla asfáltica y, al estar apoyada y sujeta la parte del concreto hidráulico, terminan por desprenderse ambos materiales. Los valores que arroja esta prueba son la carga que resisten unidas las capas y el desplazamiento máximo que soportan antes del desprendimiento.



FIGURA 6.5

PRENSA DIGITAL PARA ENSAYO DE CORTE DIRECTO LCB Y PROBETAS LISTAS PARA ENSAYARSE

6.3 RESULTADOS

Después de realizar los ensayos a cada una de las probetas se obtuvieron los siguientes resultados, mismos que se registraron en las tablas 6.4 y 6.5, en las que se observan dos nuevas columnas; la del desplazamiento máximo que soportaron las probetas antes de fallar, así como la carga máxima que soportaron.

Empleando emulsión Aniónica convencional				
No.de Probeta	Modalidad de ensayo	Superficie de concreto	Desplazamiento (mm)	Carga (kN)
1	Tras inmersión	lisa	0,751	0,981
2	Tras inmersión	lisa	0,808	3,35
3	Tras inmersión	rugosa	1,702	7,92
4	En seco	lisa	1,282	7,29
5	En seco	rugosa	2,012	13,88
6	En seco	rugosa	1,228	12,81

TABLA 6.4
RESULTADOS DE LA EMULSIÓN ANIÓNICA CONVENCIONAL

Empleando emulsión Aniónica con polímero C.A.al 61%				
No.de Probeta	Modalidad de ensayo	Superficie de concreto	Desplazamiento (mm)	Carga (kN)
7	Tras inmersión	lisa	2,036	9,26
8	Tras inmersión	lisa	1,041	9,46
9	Tras inmersión	rugosa	1,189	12,23
10	En seco	lisa	2,106	10,35
11	En seco	rugosa	1,818	12,68

TABLA 6.5
RESULTADOS DE LA EMULSIÓN ANIÓNICA CON POLÍMEROS

La gráfica 6.6 nos permiten visualizar de manera sencilla como se comporta la emulsión asfáltica usada como riego de liga convencional y al modificarse con polímeros, en condiciones de superficie lisa y superficie rugosa, además de la variación al encontrarse en estado seco y tras inmersión.

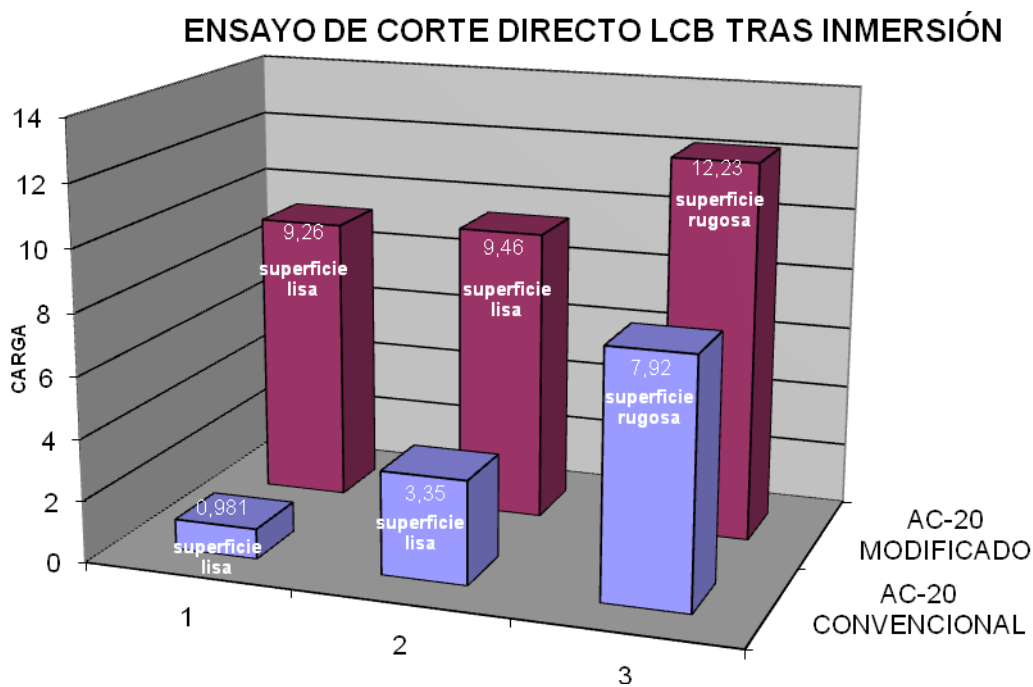


FIGURA 6.6

ENSAYO LCB TRAS INMERSIÓN CON SUPERFICIE LISA Y SUPERFICIE RUGOSA

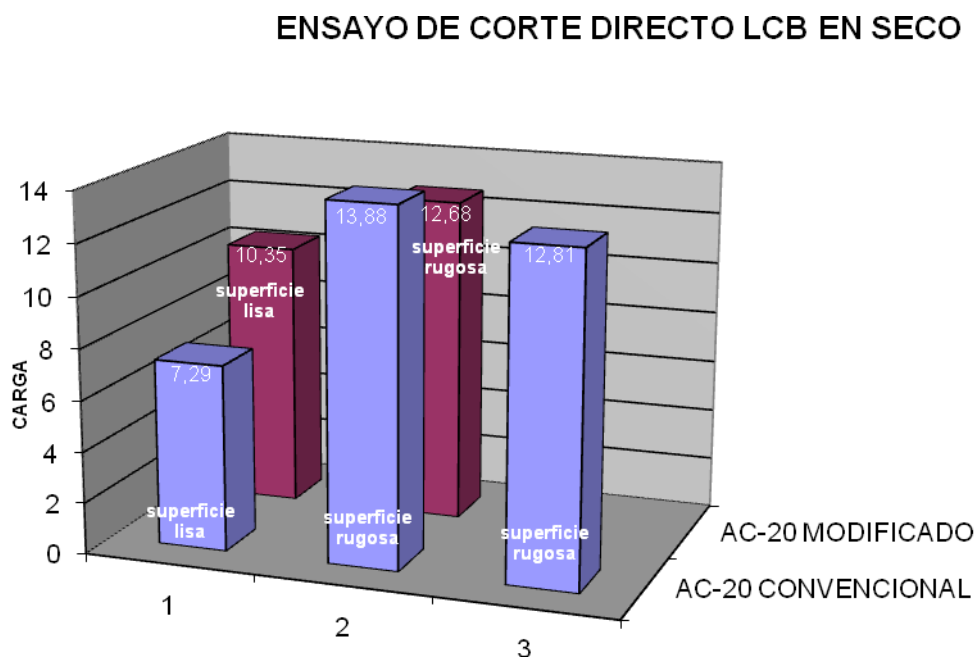


FIGURA 6.7
ENSAYO LCB EN SECO CON SUPERFICIE LISA Y SUPERFICIE RUGOSA

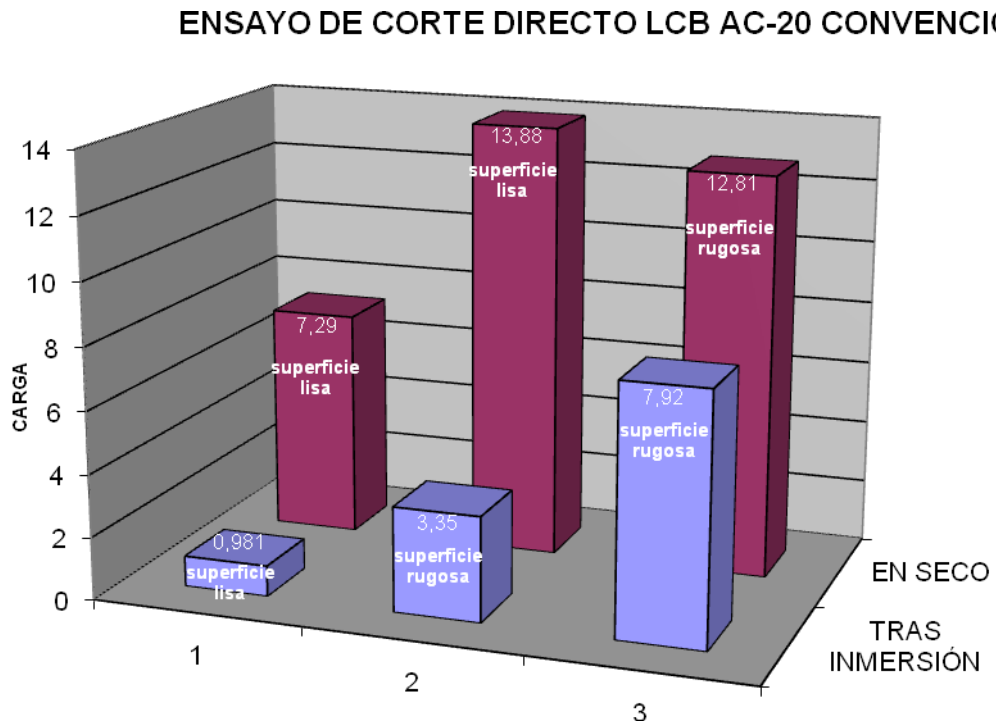


FIGURA 6.8
ENSAYO LCB EN AC-20 CONVENCIONAL, TRAS INMERSIÓN Y EN SECO

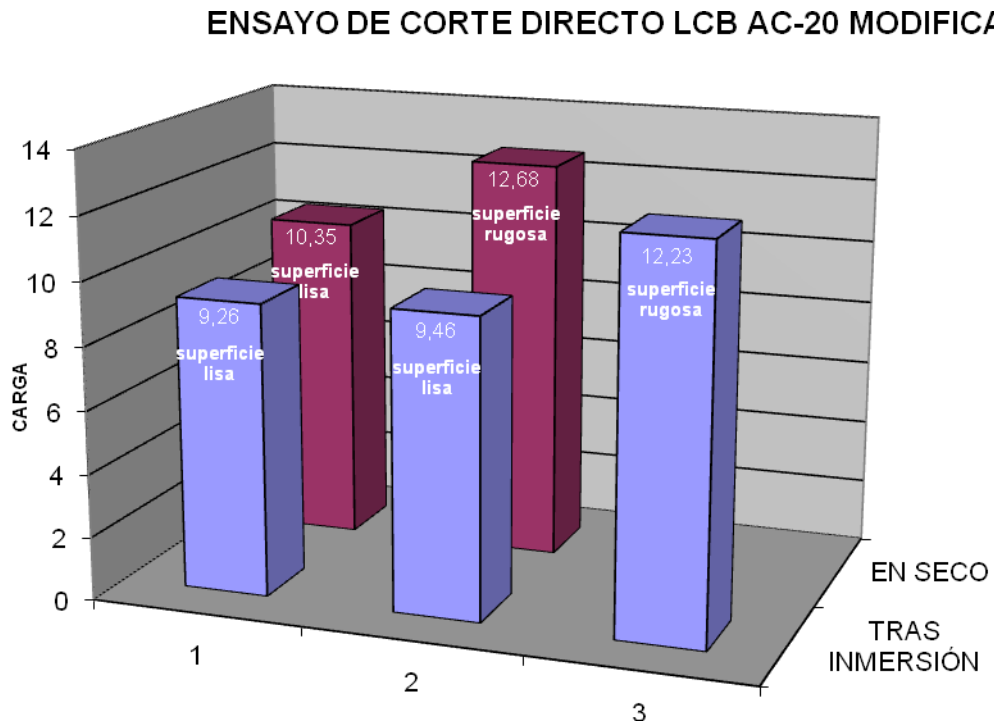


FIGURA 6.9
ENSAYO LCB EN AC-20 MODIFICADO, TRAS INMERSIÓN Y EN SECO

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES

El riego de liga es un elemento fundamental para el buen comportamiento y durabilidad de los pavimentos, ya que ayuda a la transmisión de esfuerzos verticales entre capas, lo que incrementa la vida útil de cualquier carretera o camino.

Resulta de suma importancia resaltar el hecho de que la normativa Mexicana carece de elementos técnicos para evaluar la adherencia óptima de los riegos de liga, lo que seguramente contribuye al mal desempeño de los de caminos federales y particulares de nuestro país.

El Ensayo de Corte Directo LCB, ofrece resultados confiables respecto a la medición de parámetros como son el desplazamiento y la carga que soportan las superficies de rodamiento unidas con riego de liga.

El control de la humedad es determinante para la correcta adherencia entre dos elementos a ligar, ya que como se observó en las gráficas la capacidad para resistir el esfuerzo cortante se ve notablemente disminuida en la modalidad tras inmersión.

A diferencia de lo que comúnmente se considera, es de mayor conveniencia que la superficie a la cual se va a ligar otro elemento como superficie de rodamiento; bien sea hidráulico o asfáltico, observe la mayor rugosidad posible, sin que con ello se tenga una

superficie base con tantas oquedades que ocasionen un incremento sustancial en los costos de aplicación del riego de liga.

La adición de polímeros para riego de liga es conveniente en casos de condiciones climáticas extremas, como en el caso de temperaturas muy altas y cuando se avecinan precipitaciones pluviales constantes. Esta última condición se asemeja al ensayo de probetas tras inmersión.

En la norma de la SCT no se especifica ningún requisito para la aplicación de emulsiones asfálticas modificadas elaboradas con asfalto AC-20, el cual fue el utilizado para nuestro estudio. Por lo tanto los resultados experimentales obtenidos son de suma importancia, ya que nos proporcionan información valiosa en caso de la aplicación de un riego de liga en zonas con condiciones de lluvia intensa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- “Emulsiones”. Documento Técnico No. 23, IMT, Rogelio Rodríguez Talavera, Víctor Manuel Castaño Meneses, Miguel Martínez Madrid. México (2001).
- “Revista de Obras Públicas”. Dr. V, Zorio Blanco. España (1987).
- “Manual Básico de Emulsiones Asfálticas”. Asphalt Institute (1993).
- “Diseño de Pavimentos de Concreto Hidráulico” Conferencia de CEMEX. Edgar Garduño Vázquez.
- “Diseño de Puentes con Elementos y Presforzados” Anippac. Instituto de Ingeniería de la UNAM.
- “Tesis de Conservación de Puentes”. Jesús Flores Sánchez. UNAM.
- “Riegos de Adherencia”. Milagros Fernández Cobo, José Antonio Soto Sánchez.
- “Los Áridos en la Construcción”. Luis Ebenspenger M. Revista Bit. Edición No. 26 (2003).
- “Asfalto: Un Material con Múltiples Aplicaciones”. Julio Torrejón O. Revista Bit. Edición No. 40 (2003).

- Universidad Católica de Valparaíso, <www.icc.ucv.cl>.
- “Enciclopedia Wikipedia, la Enciclopedia Libre” <www.es.wikipedia.org>.
- “Diario el Mundo”. <www.aula.elmundo.es>.
- “Universidad de las Américas de Puebla”. <www.catarina.udlap.mx>.
- “Asfaltos Modificados con Polímeros”. Mauricio Tonda.
<www.monografias.com/trabajos15/asfaltos-modificados/asfaltos-modificados.shtml>.
- “Arquitectura, Diseño, Construcción y Autocad”. <www.arquitectuba.com.ar>.
- “Portal de Ingeniería Civil y Arquitectura, con Énfasis en el Aspecto Educativo”
<<http://www.construaprende.com>>.
- “Arquitectura y Construcción”. <<http://www.arqhys.com>>.
- “Petrobras Energía S. A.”. <www.petrobras.com.ar>.
- “BIT”. Revista Técnica de la Construcción, <www.revistabit.cl>.
- “Conceptos Básicos para el Diseño de Pavimentos”. Trabajo Práctico No.3
<www.fi.uba.ar>
- “Petroquímica Panamericana S.A.”. <www.emulsionesasfalticas.com>.

- “Riegos de Liga”. Norma N·CTR·CAR·1·04·005/00. SCT
- “Carpetas Asfálticas con Mezcla en Caliente”. Norma N·CTR·CAR·1·04·006/06. SCT
- “Carpetas Asfálticas con Mezcla en Frío”. Norma N·CTR·CAR·1·04·007/06. SCT
- “Carpetas Asfálticas por el Sistema de Riegos”. Norma N·CTR·CAR·1·04·008/00. SCT
- “Carpetas de Concreto Hidráulico”. Norma N·CTR·CAR·1·04·009/06. SCT
- “Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas”. Norma N·CMT·04·04/03. SCT
- “Calidad de Materiales Asfálticos”. Norma N·CMT·4·05·001/06. SCT
- “Calidad de Materiales Asfálticos Modificados”. Norma N·CMT·4·05·002/06. SCT
- “Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras”. Norma N·CMT·4·05·003/02. SCT
- “Viscosidad Saybolt-Furol a 25 y 50°C”. Norma M·MMP·4·05·004/00. SCT
- “Destilación de Emulsiones Asfálticas”. Norma M·MMP·4·05·012/00. SCT
- “Asentamiento de Emulsiones Asfálticas”. Norma M·MMP·4·05·013/02. SCT

- “Retenido en las mallas No. 20 y No. 60 en Emulsiones Asfálticas”. Norma M-MMP-4-05-014/02. SCT
- “Cubrimiento del agregado en Emulsiones Asfálticas”. Norma M-MMP-4-05-015/00. SCT
- “Miscibilidad con Cemento Pórtland”. Norma M-MMP-4-05-016/00. SCT
- “Carga eléctrica de las Partículas de Emulsiones Asfálticas” Norma M-MMP-4-05-017/00. SCT
- “Demulsibilidad de Emulsiones Asfálticas”. Norma M-MMP-4-05-018/00. SCT
- “Índice de Ruptura de Emulsiones Asfálticas Catiónicas”. Norma M-MMP-4-05-019/00. SCT

ANEXOS FOTOGRÁFICOS



Material pétreo cribado para fabricación de mezcla asfáltica.



Secado del agregado pétreo.



Muestra de 3kg de Asfalto AC-20 convencional, parte del asfalto fue modificado con polímeros.



Las muestras del AC-20 convencional, se calentaron en un horno eléctrico, para poder ser modificado mediante la adición del porcentaje requerido de polímero.



Incorporación en caliente de asfalto AC-20 al agregado pétreo.



Corazones de concreto hidráulico ligados a pastillas de mezcla asfáltica.



Probetas sumergidas en agua para realizar ensayos en su modalidad tras inmersión.



Probetas listas para ser ensayadas.