

30  
2 Ems.



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO**

---

**Facultad de Ingeniería**

**Generalidades Sobre Pavimentos**

**TESIS PROFESIONAL**

Que presenta:

**Tómas Guillermo Covarrubias  
García**

Para obtener el Título de  
**INGENIERO CIVIL**

**México, D. F.**

**1985**



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## C O N T E N I D O

Capítulo		Página
I	INTRODUCCION	1
II	TIPOS DE PAVIMENTOS	4
	- El lugar en el que prestan sus servicios	5
	- La forma en la que se transmiten las cargas a la subrasante	8
	- Los materiales de que estan constituidos	12
III	CONSTITUCION DE LOS PAVIMENTOS	16
	- Constitución del asfalto	16
	- Constitución del concreto hidráulico	32
	- Bases	38
	- Sub-base	41
	- Mejoramientos	45
	- Estabilización de sueldos	48
	- Suelo-cal	51
	- Suelo-cemento	54
	- Subrasante	57
IV	ELABORACION Y COLOCACION DE PAVIMENTOS	58
	- Carpeta asfaltica de tratamientos <u>super</u> ficiales	58
	- Macadam asfáltico o de penetración	65

Capítulo

Página

- Carpeta de mezcla en el lugar o camino	68	
- Mezcla en planta con dosificación por - volumen	71	
- Carpeta de concreto asfáltico	73	
- Riego de impregnación	78	
- Riego de sello	79	
- Riego de liga	82	
- Bacheo	83	
- Reconstrucción de pavimentos (sobre car <u>pet</u> peta)	89	
- Pavimentos de concreto hidráulico	95	
V	PRUEBAS DE LABORATORIO	105
- Pruebas en asfaltos		105
- Pruebas en emulsiones asfálticas		118
VI	CONCLUSIONES	123
	 BIBLIOGRAFIA	 127

## C A P I T U L O I

### INTRODUCCION

La parte más importante de una carretera, aeropuerto o calle, es su pavimento. Sin esta estructura no se puede pensar - en tránsito rápido, cómodo y seguro en esas obras.

Los pavimentos, como cualquier estructura, se diseñan, - construyen y conservan, a través de un conjunto de actividades necesarias para recabar toda la información y aplicando los mé todos adecuados, solucionar el problema, el cual termina con las especificaciones para construir el pavimento.

Los pavimentos con una superficie de rodamiento asfáltica, con bases granulares y en algunos casos con subbases granulares, son los pavimentos flexibles típicos. A medida que la base se construye de suelo-cemento o de suelo-asfalto, con una - rigidez y resistencia mecánica alta, su flexibilidad puede desaparecer y tener un comportamiento rígido.

Los pavimentos rígidos, son los de concreto. Estos pavimentos reciben la carga de los vehículos y la reparten a un área muy amplia de la subrasante. La losa por su alta rigidez y alto módulo elástico, tiene un comportamiento de elemento estructural de viga. Ella absorbe prácticamente toda la carga. Estos pavimentos han tenido un desarrollo bastante dinámico, de - -

acuerdo al adelanto tecnológico y científico correspondiente a las estructuras de concreto.

Los asfaltos usados en la pavimentación, varían en consistencia desde líquidos que la tienen como el agua, hasta asfaltos sólidos pulverizados que se usan para mezclas. Los diversos tipos de materiales asfálticos que se utilizan en estos trabajos son los cementos asfálticos, asfaltos rebajados y emulsiones asfálticas. Para los pavimentos de concreto hidráulico, su construcción es básicamente la misma que la del concreto para otras estructuras.

Lo que caracteriza a todos los pavimentos, es la capa - que sirve de rodamiento. Todas estas capas (carpetas asfálticas, adoquinados, enpedrados o losas), están apoyadas en una o varias capas de suelo llamados subbase y base. Se - considera que la subrasante es parte de la terracería, sólo se tratarán los casos más comúnmente utilizados en nuestros días, en la construcción de pavimentos asfálticos y pavimentos de concreto.

A la estructura del pavimento se aplican las cargas de las ruedas de los vehículos, que pueden alcanzar un número hasta de varios millones durante su período de años. Cada vez que una carga pasa, ocurre alguna deformación de la superficie y de las capas inferiores. Si la carpeta es excesiva, sus aplicaciones repetidas ocasionarán asperezas y agrietamientos que finalmente conducen a un undimiento considerable.

El control de calidad de un pavimento es básicamente un problema de muestreo y ensayo. Aunque la inspección se hace,

desde el inicio abarcando visualmente toda la obra, es necesario tomar una pequeña cantidad de todos los materiales y ensayarlos para determinarles sus características más importantes, por lo cual, el proyecto del pavimento de carreteras en nuestro país debe estar siempre ligado a los laboratorios de materiales.

## C A P I T U L O    I I

### TIPOS DE PAVIMENTOS

Desde hace muchas décadas se han hecho intentos de clasificar los diferentes pavimentos.

El pavimento es una estructura artificialmente formada - por varias capas de materiales seleccionados, que dan lugar en su parte superior a una superficie de rodamiento. Esta estructura de la carretera tiene por objeto aminorar el efecto de las cargas estáticas o en movimiento de los vehículos a las terracerías, pero en una superficie más amplia, con la cual se logra disminuir las presiones que deben soportar las terracerías, resistiendo los efectos destructivos del tránsito y de los agentes atmosféricos, para que estas puedan funcionar adecuadamente.

Los pavimentos podrán clasificarse desde muy diversos puntos de vista y, podremos hacerlo de acuerdo con:

- a) El lugar en el que prestan servicios.
- b) La forma en la que se transmiten las cargas a la subrasante.
- c) Los materiales de que están constituidos.

De acuerdo con su clasificación pueden presentarse los siguientes casos:



a) Según el lugar en el que prestan servicios.

1) Pavimentos para vivienda:

Son aquellos que cumplen su misión dentro del ámbito de las viviendas y, por lo general tienen - en gran manera el fin de embellecer, ya que, cargas y tránsito, son de ordinario, reducidos, debiendo cumplir, en cambio, importante función en cuanto a color, textura y suavidad. Los materiales de que están constituidos son de lo más variado, yendo desde la piedra natural a la madera y de la piedra artificial, a las losetas de resinas sintéticas.

2) Pavimentos urbanos:

Estos son los que desempeñan funciones en; calles, parques, paseos y plazas, es decir en zonas de circulación, permanencia o recreación con las que cuentan todos los centros urbanos.

Tienen características propias según sean las zonas urbanas en las que han de ser utilizados y - el uso específico a que se les destina. Si se - utilizan en plazas, habrá que distinguir y diferenciar las zonas que están destinadas a la circulación de vehículos y las que solamente se han destinado a la circulación de peatones.

Los pavimentos de las vías de circulación de vehículos tendrán como condición fundamental, resistir el tránsito rodado y tener condiciones - antisonoras. En todos los pavimentos urbanos se

debe tener en cuenta que también cumplen funciones estéticas. Los pavimentos constituyen, una parte muy importante del planeamiento urbano, el cual no puede darse por terminado, si en su diseño no se han considerado los mismos, los cuales deberán ser adecuados a las características de la zona.

### 3) Pavimentos de carreteras:

Una carretera destinada al tránsito moderno, no puede darse por terminada, si no se le ha dotado del pavimento que responda a sus características.

El pavimento, en la carretera está destinado esencialmente a soportar la acción mecánica de los vehículos, transmitiendo las cargas a la subrasante y manteniéndose inalterables, dentro de lo posible, ante los agentes atmosféricos y gozar de una superficie impermeable.

Es en los pavimentos para carreteras, donde más se debe tener en cuenta el aspecto económico, - por las enormes superficies que se deberán cubrir, resultando sumas muy importantes en el conjunto, y pequeñas diferencias de precio por metro cuadrado. En el diseño y cálculo de estos pavimentos, debe tenerse en cuenta los efectos originados por las cargas de los ejes, cada vez más pesados y moviéndose a velocidades mayores. Considerando los efectos de los impactos, las vibraciones y el resultado del rodamiento.

### 4) Pavimentos para aeropuertos:

Los aviones, como elemento de transporte, necesitan zonas más amplias, destinadas a las operaciones de aterrizaje, despegue y estacionamiento y para ello, exigen superficies considerables cubiertas por pavimentos capaces de soportar las cargas, cada vez mayores de los aviones. En estos pavimentos se toman en cuenta los efectos que producen las tomas de contacto de las ruedas y las velocidades muy altas que tienen al aterrizar y despegar. Igualmente, tener en cuenta las fuertes corrientes de aire que generan los motores y las altas temperaturas de los gases. El diseño y cálculo de estos pavimentos tiene características especiales y su costo es siempre elevado.

#### 5) Pavimentos para malecones portuarios y muelles:

Los pavimentos de los malecones portuarios y de los muelles tienen características que los distinguen de los demás, debido al tipo de subrasantes encima de los cuales deben construirse. A veces son estructuras que no descansan sobre el suelo y otras son construídas sobre subrasantes absolutamente inapropiadas.

En su diseño debe contemplarse, de manera preferente las grandes cargas estacionarias y las de los vehículos cuya distribución de peso es suigéneris, por ejemplo: los montacargas, gruas, tractores etc. Por lo anterior los pavimentos a que nos referimos deben tratarse en forma específica en cuanto al cálculo y construcción.

b) De acuerdo con la forma en que transmiten las cargas a la subrasante.

1) Pavimentos flexibles:

Los pavimentos con una superficie de rodamiento asfáltica con bases granulares y en algunos casos subbase granulares, son los pavimentos flexibles típicos. A medida que la base se construye de suelo-cemento o suelo-asfalto, con una rigidez y resistencia mecánica alta su flexibilidad puede desaparecer y tener un comportamiento rígido o semirígido.

La carpeta asfáltica es la capa o capas formadas de agregados pétreos y asfalto, colocadas sobre la capa base. En pavimentos de poco a regular tránsito, se coloca una carpeta de un solo espesor y en casos de tránsito intenso y pesado, el espesor de la carpeta asfáltica se divide en carpeta de desgaste y capa de liga.

La función de la carpeta asfáltica es proporcionar una superficie tersa y segura al rodamiento de los vehículos. Debe tener suficiente resistencia tanto al desgaste como a la fractura para soportar las cargas, debe ser antiderrapante y no deformarse.

Los diferentes tipos de carpetas asfálticas que son las más adecuadas en el empleo de los pavimentos flexibles, se pueden clasificar de la siguiente manera:

- a) Tratamientos superficiales.
- b) Macadam asfáltico o de penetración.
- c) Mezcla en el lugar.
- d) Mezcla en planta.
- e) Concreto asfalto.

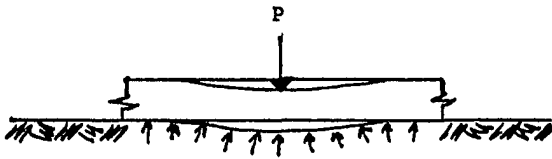
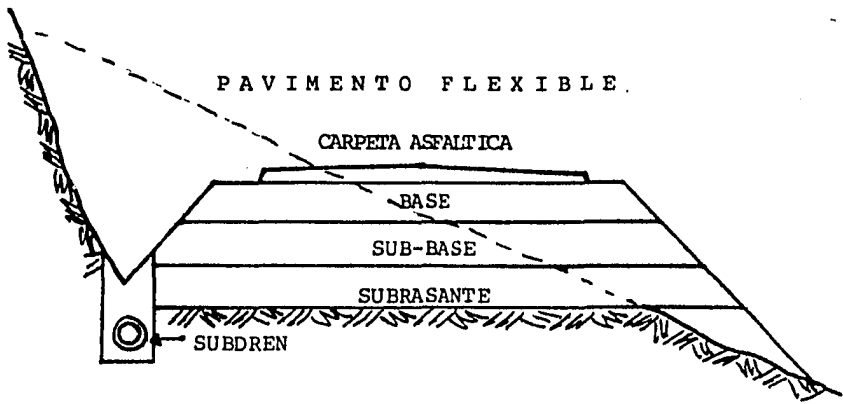
Las cuales se detallaran en el proceso constructivo en los siguientes capítulos.

## 2) Pavimentos rígidos.

Los pavimentos típicos rígidos, son los de concreto. Estos pavimentos de concreto reciben la carga de los vehículos y la reparten a un área muy amplia de la subrasante. La losa, por su alta rigidez, y alto módulo elástico, tiene un comportamiento de elemento estructural de viga, ella absorbe prácticamente toda la carga. Estos pavimentos han tenido un desarrollo bastante dinámico, de acuerdo al adelanto tecnológico y científico correspondiente a las estructuras de concreto.

Bajo la denominación de pavimentos rígidos caen todos aquellos que transmiten la carga que reciben de manera uniforme en una extensión considerable y a distancia apreciable de su punto de aplicación, en cambio se consideran como pavimentos flexibles aquellos que transmiten a la subrasante las cargas que reciben, solo en las zonas próximas a la aplicación de la carga, como se aprecia en la FIGURA 1.

Los pavimentos que aquí se presentarán y que se les llamará simplemente, pavimentos de concreto, son los siguientes:



PAVIMENTO RIGIDO

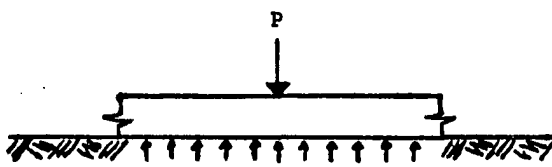
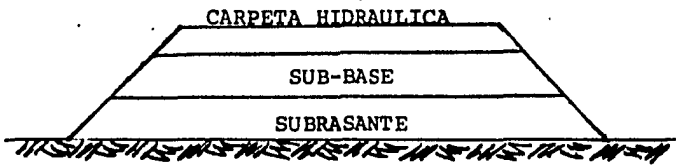


FIGURA N°1. CLASES DE PAVIMENTO

- a) Pavimentos de concreto simple, sin varillas pasajuntas.
- b) Pavimentos de concreto simple, con varillas pasajuntas.
- c) Pavimentos de concreto reforzado (refuerzo con tinuo).
- d) Pavimentos de concreto preesforzado.
- e) Pavimentos de concreto reforzado con fibras - cortas de acero.

El talón de Aquiles de los pavimentos de concreto, son las juntas que se tienen que diseñar y construir para controlar los cambios de volumen, inevitables, que se producen en ellos por los cambios de temperatura. Los pavimentos de refuerzo continuo y los preesforzados, se diseñan y - construyen sin juntas transversales de contracción y expansión, excepto al llegar a un cruce o a una estructura fija. Sólo se construyen juntas de construcción. Estos pavimentos son muy caros y de tecnología muy avanzada.

Los pavimentos de concreto son muy adecuados para calles de ciudades o plantas industriales.

### 3) Pavimentos mixtos:

Se conocen con el nombre de pavimentos mixtos a aquellos que tratan de utilizar las ventajas que tienen los pavimentos rígidos y los flexibles.

Para lograrlo se han ideado diferentes procedimientos que dan como resultado pavimentos de varias capas, unas del tipo rígido y otras constituidas por mezclas asfálticas.

c) Por los materiales de que están constituidos.

1) Suelos estabilizados:

Como el nombre lo indica, con este recurso se pretende hacer más "estable" a un suelo. La primera y la que siempre acompaña a todas las estabilizaciones, es la de aumentar la densidad de un suelo, compactándolo mecánicamente. La segunda estabilización usada es la de mezclar a un material de granulometría gruesa, otra que carece de esa característica. Finalmente, está el recurso de estabilizar un suelo, mezclándole cemento portland, calhidratada, asfalto o cloruro de sodio.

El uso de la cal está limitado a suelos que contengan minerales arcillosos, con los cuales hacen la "acción puzolánica" que lentamente va cementando las partículas del suelo. La utilidad de la cal es para aquellos casos en los que no se necesita pronta resistencia. Este aglomerante es muy adecuado para bajar la plasticidad de los suelos arcillosos o para contrarrestar el alto contenido de humedad en terracerías o en bases y subbases siempre que éstas no sean muy arenosas.

El ingeniero de pavimentos debe recordar que la estabilización es un asunto económico. Que hay casos en los que es mejor y más barato recurrir a un mejoramiento del suelo del lugar, que transportar otro material desde grandes distancias.

Los siguientes casos pueden justificar una estabilización:



- a) Un suelo de subrasante desfavorable, o muy arenoso, o muy arcilloso.
- b) Materiales para base o subbase en el límite de especificaciones.
- c) Condiciones de humedad desfavorables.
- d) Cuando se necesite una base de calidad superior, como en una autopista.
- e) En repavimentación, aprovechando los materiales existentes.

2) Pavimentos bituminosos:

Los diferentes materiales que se denominan bituminosos, son cuerpos extremadamente complejos, constituidos esencialmente por hidrocarburos asociados con materiales minerales en mayor o menor proporción. Los términos: bitumen, betún, asfalto y brea, son utilizados en forma no muy precisa para determinar diferentes sustancias bituminosas, de ahí que conviene el tratar de fijar ideas para evitar confusiones.

Podemos aceptar que los materiales bituminosos se dividen y subdividen así:

Materiales bituminosos	Asfaltos	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Cementos asfálticos</li> <li>b) Asfaltos rebajados</li> <li>c) Asfaltos emulsionados</li> </ul>
------------------------	----------	---

Alquitranes	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Alquitranes</li> <li>b) Breas</li> </ul>
-------------	--

Los asfaltos son sustancias bituminosas, compuestas por hidrocarburos naturales o pirogénicos, de color negro o pardo obscuro, relativamente duros y comparativamente no volátiles (substantialmente libres de cuerpos oxigenados), frecuentemente asociados a materiales minerales (arena, arcilla, sílice, etc). Su base no mineral, es fusible y fácilmente soluble en sulfuro de carbono. El alquitrán, es un material bituminoso que se obtiene por destilación destructiva de un grupo muy extenso de sustancias orgánicas (prácticamente todas las que tienen fracción volátil).

### 3) Pavimentos de concreto de cemento.

Hemos dicho, anteriormente, que los pavimentos rígidos, transmiten los esfuerzos a distancias y repartiéndolos así sobre una gran superficie. Las presiones que estos pavimentos transmiten a la subrasante dependen:

- a) De las dimensiones de las losas, especialmente su espesor.
- b) De la elasticidad relativa de las citadas losas.
- c) De la elasticidad de la subrasante.
- d) De la posición de la carga sobre la losa.

El cemento debe cumplir con las especificaciones de la D.G.N. C-1-1975 y C-2-1970. Se emplearán los cementos Tipos I, Tipo I/P y Tipo III, para casos especiales.

El agua de mezclado debe ser enteramente limpia y clara, sin olor, ni sabor fuera de lo común, ni tener aceite, sales, azúcares, ácidos o mate-

ria vegetal. El agregado fino y grueso deben de cumplir con las granulometrias especificadas.

#### 4) Pavimentos varios:

Son los pavimentos en los cuales la superficie de rodamiento no es de asfalto ni de concreto, las cuales pueden ser empedradas, adoquinadas, de mosaicos de ladrillos, de madera y hasta se han utilizado pavimentos de hierro en algunos países productores de hierro en forma de placas.

Para todos estos pavimentos se utilizan especificaciones particulares, para cada uno de ellos, ya que tienen diferentes modos de construcción.

## C A P I T U L O    I I I

### CONSTITUCION DE LOS PAVIMENTOS

#### Constitución del Asfalto.

El asfalto es un sólido o semisólido café obscuro, con propiedades adherentes, que gradualmente se licua por calentamiento y en el cual los constituyentes predominantes son bitúmenes que existen en forma sólida o semisólida en la naturaleza, o que se obtienen por refinación del petróleo, o que son combinaciones de ambos asfaltos entre sí, o con petróleo o - sus derivados.

En forma sólida es el asfalto un medio cementante, duro y de gran duración. Mediante el asfalto ha sido posible, el uso de roca, grava y arena, para la construcción de pavimentos - permanentes de buena calidad. Las capas de roca cementadas o aglutinadas mediante asfalto, frecuentemente se parten antes de que el medio cementante que las une se divida. Al mismo - tiempo es el asfalto uno de los conservadores mejor conocidos por el hombre y es posiblemente el material impermeabilizante más útil que existe. El asfalto es fácilmente manejable para todos los usos y puede ser transformado a formas sólidas, - plásticas o líquidas; moldeado para dar cualquier forma y tra**ba**jado para revestimientos relativamente delgados.

Por medio de disolventes se le puede dar cualquier consistencia, lo mismo que por calentamiento. Los constituyentes elásticos que contiene, le imparten flexibilidad a sus derivados. No está sujeto a alteraciones por vibración y no refleja ondas de sonido, lo que hace que sea un medio absorbente excelente del sonido. El asfalto no causa daño a las personas que lo manejan y solamente se necesitan precauciones para impedir quemaduras, cuando se trabaja con compuestos preparados a altas temperaturas.

El medio cementante, usado en la capa superior del pavimento flexible, es generalmente cemento asfáltico, que liga y mantiene unidas las partículas de agregado, previamente compactadas para formar una masa estable, sólida y capaz de resistir los esfuerzos enormes de compresión, impuestos sobre su superficie por las cargas de los vehículos. El asfalto protege también la mezcla de pavimentos de los aspectos destructores del intemperismo, haciendo un medio de construcción sumamente resistente.

En términos generales se compone el asfalto de tres grupos de ingredientes fundamentales: aceites, resinas y asfaltenos. Estos tres constituyentes se disuelven mutuamente entre sí. Los asfaltenos son solubles en las resinas y ambos son portados en el aceite que actúa como vehículo.

Los asfaltenos dan al asfalto su dureza y las resinas - sus propiedades cementantes. Ambos, en conjunto, le imparten las propiedades cementantes, conservadores e impermeabilizantes que lo caracterizan. Los aceites a su vez, proveen la movilidad y plasticidad del asfalto, haciendo que sea manejable para todos los usos. Las proporciones relativas de cada ingrediente del asfalto, determinan su consistencia y sus características como medio cementante conservador.

Un asfalto compuesto fundamentalmente por asfaltenos y que contenga pocas resinas, es siempre duro; la gilsonita es un espécimen representativo de ésto. Los cementos asfálticos contienen a su vez una proporción reducida de aceites; su consistencia se indica a base de unidades de penetración. Mientras menos aceite tenga la combinación, más duro será el cemento asfáltico e inversamente, mientras más aceite exista, más suave será el cemento asfáltico y mayores serán sus propiedades lubricantes.

El asfalto natural tiene que ser rebajado con un asfalto más suave antes de que sea propio para la pavimentación y el petróleo asfáltico tiene que ser destilado o evaporado hasta llegar a una consistencia conveniente. El asfalto natural - puede ser dividido en dos subclases; dependiendo de que su contenido de bitúmen puro sea relativamente alto o bajo (superior o inferior a 20%).

Los asfaltos de roca son rocas silicosas o calcáreas impregnadas naturalmente con bitúmen puro. Generalmente se les tritura, rompe, calienta, etc., y se utilizan ya en esa forma para compactarse y formar superficies de pavimentación.

Los asfaltos naturales que son el producto existente en la naturaleza como un material sólido o semisólido en depósitos subterráneos en grietas y fisuras en la tierra, del proceso natural de evaporación o destilación, y se forma con la acción conjunta del sol y el aire, con la separación de los aceites ligeros y gases, cuando el petróleo crudo sube a la superficie.

En general se emplean dos métodos para la recuperación del asfalto, del petróleo crudo. El método de la destilación por vapor y el proceso continuo.

Los asfaltos usados en la industria de la pavimentación, varían en consistencia desde líquidos que la tienen como el agua y que son usados como medios para suprimir el polvo, - hasta asfaltos sólidos pulverizados que se usan para mezclas. Los diversos tipos de asfaltos incluyen los siguientes: asfaltos duros, cementos asfálticos, asfaltos líquidos de fraguado lento, asfaltos líquidos de fraguado medio, asfaltos líquidos de fraguado rápido y asfaltos emulsificados o emulsiones asfálticas.

a) Asfaltos duros:

El asfalto pulverizado es un asfalto duro que ha sido molido hasta obtener un polvo que pase la malla 10, y que logre en un 50 % pasar a través de una malla 80. Este se produce por destilación bajo vacío y con arrastre de vapor o por soplado, durante el cual los gases, aceites y otros líquidos ligeros son eliminados dejando un asfalto seco, concentrado y duro.

El asfalto pulverizado se utiliza normalmente mezclado con asfaltos de fraguado lento para aumentar la consistencia, el poder cementante y para incrementar la resistencia a la intemperie. Los asfaltos pulverizados son - particularmente útiles para la producción de mezclas para bacheo, que mantienen su manejabilidad durante semanas después de su preparación, pero que después de compactados poseen las características del pavimento obtenida por mezcla en caliente.

Este tipo de mezcla es preparado recubriendo las partículas de agregado con el grado más propio de asfalto líquido de curado lento. Es asfalto pulverizado en las proporciones debidas, se mezcla después con las partículas re-

cubiertas de aceite. Los pequeños granos de asfalto pulverizado, entran en contacto y se adhieren a las películas de aceite de curado lento con las cuales se fluxean lentamente para formar películas de ligante de cemento - asfáltico.

#### b) Cementos asfálticos.

Entre el asfalto duro descrito y los asfaltos líquidos usados en tratamiento de superficie y en mezclas de bajo costo para pavimentación, viene el cemento asfáltico. Se usa como filler para pavimentos en bloque, para cerrar grietas, como ligantes para concreto asfáltico de alto grado y para sellos en caliente. Diferentes grados de cemento asfáltico son designados por los límites altos y bajos, determinados por su poder de penetración.

Según la destilación existen diferentes grados de dureza, del cemento asfáltico, desde el grado 3, 4, 6, 7, 8, 10 y 12, donde el grado 3 es más blando y el 12 el más duro, conocido con el nombre de chapopote.

El cemento asfáltico es aniónico de 80°C a 100°C ya que es aglutinante. Un medio de licuarlo es agregando gasolina, aceites ligeros o por calentamiento. El asfalto base para carreteras es el cemento asfáltico número 6. En la TABLA 1 se muestran las diferentes pruebas que deberán satisfacer los distintos grados de cemento.

#### c) Asfaltos rebajados de fraguado rápido:

Son los materiales asfálticos líquidos, compuestos de un cemento asfáltico de grado número 6 y un disolvente del tipo de la nafta o gasolina.



=====

CEMENTO ASFALTICO

=====

C O N C E P T O	GRADO DE CEMENTO ASFALTICO			
	N° 3	N° 6	N° 7	N° 8
Punto de ignición (copa abierta Cle- veland), °C, mín.	220	230	240	260
Penetración, grados	180-200	80-100	60-70	40-50
Punto de fusión, °C	37-43	45-52	48-56	52-60
Ductilidad, centíme- tros, mínimo	100	100	100	10
Solubilidad en CCl <sub>4</sub> , por ciento, mínimo	99.5	99.5	99.5	99.5
Pérdida por calenta- miento, por ciento, máximo	1.0	1.0	0.5	0.5

=====

T A B L A N° 1

Mientras más volátil sea el solvente más rápida será la velocidad de fraguado; la cantidad de solvente también - determina la velocidad de fraguado. Los rebajados que - contienen una gran cantidad de solvente, fraguan más rápidamente que aquellos que contienen menos cantidad.

Eventualmente el solvente debe separarse de la mezcla de pavimentación dejando cemento asfáltico en su lugar como cementante o como medio impermeabilizante. Mientras más dura sea la base asfáltica más solventes se necesitarán para producir un grado determinado de fluidez. La rapidez con la cual los asfaltos rebajados pueden invertir - su estado para convertirse en cementos asfálticos, depen de de la cantidad y caracter del solvente y de las condi ciones empleados en su uso. Debiéndose satisfacer las - pruebas de la TABLA 2.

d) Asfaltos rebajados de fraguado medio:

Son los materiales asfálticos líquidos, compuestos de un cemento asfáltico de grado número 6 y un disolvente del tipo del querosen como el petróleo diafana.

Las mezclas de pavimentación hechas con rebajados de fra guado medio, deben ser aireadas perfectamente bien antes de que sean compactadas.

Aún con esta precaución, el ligante asfáltico no alcanza rá la consistencia del cemento asfáltico durante varios años. La TABLA 3 marca las pruebas a satisfacer.

e) Asfaltos rebajados de fraguado lento:

Son los materiales asfálticos líquidos, compuestos de un

ASFALTOS REBAJADOS DE PRAGUADO RAPIDO ( FR )

C O N C E P T O	GRADO DEL PRODUCTO				
	FR-0	FR-1	FR-2	FR-3	FR-4
-----					
PRUEBAS EN EL PRODUCTO ORIGINAL					
Punto de ignición (copa abierta de Cleveland) en °C			35 mín	35 mín	35 mín
Viscosidad Saybolt-Furol					
A 25°C en seg.	75-150				
A 50°C en seg.		75-150			
A 60°C en seg.			100-200	250-500	
A 82°C en seg.					125-250
Penetración del asfalto básico en grados.	80-100	80-100	80-100	80-100	80-100
Destilación: Por ciento del total destilado a 360°C					
Hasta 190°C	15 mín	10 mín			
Hasta 225°C	55 mín	50 mín	40 mín	25 mín	8 mín
Hasta 260°C	75 mín	70 mín	65 mín	55 mín	40 mín
Hasta 315°C	90 mín	88 mín	87 mín	83 mín	80 mín
Residuo de la destilación a 360°C, por ciento del volumen por diferencia.	50 mín	60 mín	67 mín	73 mín	78 mín
Agua por destilación en por ciento	0.2 máx	0.2 máx	0.2 máx	0.2 máx	0.2 máx
-----					
PRUEBAS EN EL RESIDUO DE LA DESTILACION					
Penetración en grados	80-120	80-120	80-120	80-120	80-120
Ductilidad en centímetros	100 mín	100 mín	100 mín	100 mín	100 mín
Solubilidad en CCL <sub>4</sub> , en por ciento	99.5 mín	99.5 mín	99.5 mín	99.5 mín	99.5 mín
-----					

T A B L A N ° 2

ASFALTOS REBAJADOS DE FRAGUADO MEDIO ( FM )

C O N C E P T O	GRADO DEL PRODUCTO				
	FM-0	FM-1	FM-2	FM-3	FM-4
-----					
PRUEBAS EN EL PRODUCTO ORIGINAL					
Punto de ignición (copa abierta de Clebaland) en °C	38 mín	38 mín	66 mín	66 mín	66 mín
Viscosidad Saybolt-Furol					
A 25°C en seg.	75-150				
A 50°C en seg.		75-150			
A 60°C en seg.			100-200	250-500	
A 82°C en seg.					125-250
Penetración del asfalto blando en grados.	80-100	80-100	80-100	80-100	80-100
Destilación: Por ciento del total destilado a 360°C					
Hasta 225°C	25 máx	20 máx	10 máx	5 máx	0
Hasta 260°C	40-70	25-65	15-55	5-40	30 máx
Hasta 315°C	75-93	70-90	60-87	55-85	40-80
Residuo de la destilación a 360°C, por ciento del volumen por diferencia.	50 mín	60 mín	67 mín	73 mín	78 mín
Agua por destilación en por ciento	0.2 máx	0.2 máx	0.2 máx	0.2 máx	0.2 máx
-----					
PRUEBAS EN EL RESIDUO DE LA DESTILACION					
Penetración en grados	120-300	120-300	120-300	120-300	120-300
Ductilidad en centímetros	100 mín	100 mín	100 mín	100 mín	100 mín
Solubilidad en CCL <sub>4</sub> , en por ciento	99.5 mín	99.5 mín	99.5 mín	99.5 mín	99.5 mín
-----					

T A B L A N ° 3

cementante asfáltico de grado número 6 y un disolvente de baja volatilidad o aceite ligero como el disel. Debiendo satisfacer las pruebas de la TABLA 4.

En la actualidad el uso de estos asfaltos se ha ido reduciendo con el tiempo ya que se ha requerido una mayor rapidez de construcción en el uso de estos pavimentos.

f) Emulsiones asfálticas:

Son los materiales asfálticos líquidos estables, formados por dos fases no misibles, en la cual la fase continúa de la emulsión está formada por agua y la fase discontinua por pequeños globulos de asfalto.

Dependiendo del agente emulsificante, las emulsiones asfálticas pueden ser aniónicas, si los globulos de asfalto tienen carga electronegativa o catiónica, si los globulos asfálticos tienen carga electropositiva. Las emulsiones asfálticas pueden ser de rompimiento rápido, medio y lento.

Estos productos asfálticos líquidos generalmente se utilizan empleando cementos asfálticos de grado número 6, un agente emulsificante y agua, pasando la mezcla a través de un molino coloidal de tal manera que el asfalto permanezca en dispersión en el agua. Variando el porcentaje y el tipo de agente emulsificante, la ruptura de la emulsión puede ser controlada de manera que permita que transcurra un tiempo necesario entre el recubrimiento del agregado y el fin de las operaciones de construcción. Debiendo satisfacer las pruebas de las TABLAS 5 y 6.

Los asfaltos líquidos difieren de los cementos asfálti-

ASFALTOS REBAJADOS DE FRAGUADO LENTO ( FL )

CONCEPTO	GRADO DEL PRODUCTO				
	FL-0	FL-1	FL-2	FL-3	FL-4
PRUEBAS EN EL PRODUCTO ORIGINAL					
Punto de ignición (copa abierta de Cleveland) en °C	66 mín	66 mín	88 mín	93 mín	107 mín
Viscosidad Saybolt-Furol					
A 25°C en seg.	75-150				
A 50°C en seg.		75-150			
A 60°C en seg.			100-200	250-500	
A 82°C en seg.					125-250
Penetración del asfalto básico en grados	80-100	80-100	80-100	80-100	80-100
Destilación: Destilado total a 360°C por ciento del volumen por diferencia.	15-40	10-30	5-25	2-15	10 máx
Residuo asfáltico de 100 grados de penetración en por ciento	40 mín	50 mín	60 mín	70 mín	75 mín
Agua por destilación en por ciento	0.5 máx	0.5 máx	0.5 máx	0.5 máx	0.5 máx
PRUEBAS EN EL RESIDUO DE LA DESTILACION					
Flotación en el residuo de la destilación, a 25°C en seg.	15-100	20-100	25-100	50-125	60-150
Ductilidad del residuo asfáltico de 100 grados de penetración, 25°C en centímetros	100 mín	100 mín	100 mín	100 mín	100 mín
Solubilidad en CCl <sub>4</sub> , en por ciento	99.5 mín	99.5 mín	99.5 mín	99.5 mín	99.5 mín

T A B L A N° 4

EMULSIONES ASFALTICAS ANIONICAS

C A R A C T E R I S T I C A S	G R A D O				
	ROMPIMIENTO		ROMPIMIENTO		ROMPIMIENTO
	RAPIDO		MEDIO		LENTO
	RR-1	RR-2	RM-2	RL-1	RL-2

PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO

Viscosidad Saybolt-Furol a 25°C, segundos	20-100		100 mín	20-100	20-100
---	--------	--	---------	--------	--------

Viscosidad Saybolt-Furol a 50°C, segundos			75-400		
---	--	--	--------	--	--

Residuo de la destilación, por ciento en peso, mínimo	57	62	62	57	57
---	----	----	----	----	----

Asentamiento en cinco días, diferencia en por ciento máx.	3	3	3	3	3
---	---	---	---	---	---

Damulsibilidad:

35 ml. de 0.02N CaCl <sub>2</sub> , por ciento mínimo	60	50			
---	----	----	--	--	--

50 ml. de 0.10N CaCl <sub>2</sub> , por ciento máximo			30		
---	--	--	----	--	--

Retenido en la malla N° 20, por ciento máximo	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
---	------	------	------	------	------

Miscibilidad con cemento Portland, por ciento, máximo				2.0	2.0
---	--	--	--	-----	-----

PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION

Penetración, 25°C, 100 gramos 5 segundos, grados	100-200	100-200	100-200	100-200	40-90
--	---------	---------	---------	---------	-------

Solubilidad en CCl <sub>4</sub> , por ciento, mínimo	97.5	97.5	97.5	97.5	97.5
--	------	------	------	------	------

Ductilidad, 25°C, centímetros, mínimo	40	40	40	40	40
---------------------------------------	----	----	----	----	----

Nota: La viscosidad de las emulsiones no debe aumentar más de 30 por ciento al bajar su temperatura de 20°C a 10°C, ni bajar más de 30 por ciento al subir su temperatura de 20°C a 40°C.

T A B L A N° 5

EMULSIONES ASFALTICAS CATIONICAS

CARACTERISTICAS	G R A D O					
	ROMPIMIENTO RAPIDO		ROMPIMIENTO MEDIO		ROMPIMIENTO LENTO	
	RR-2K	RR-3K	RM-2K	RM-3K	RL-2K	RL-3K
<b>PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO</b>						
Viscosidad Saybolt-Furol a 25°C, segundos					20-100	20-100
Viscosidad Saybolt-Furol a 50°C, segundos	20-100	100-400	50-500	50-500		
Residuo de la destilación, por ciento en peso, mínimo	60	65	60	65	57	57
Asentamiento en cinco días, diferencia en por ciento máx.	5	5	5	5	5	5
Retenido en la malla N°20, por ciento, máximo	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Cubrimiento del agregado (en condiciones de trabajo), Prueba de resistencia al agua:						
Agregado seco, por ciento de cubrimiento, mínimo			80	80		
Agregado húmedo, por ciento de cubrimiento, mínimo			60	60		
Miscibilidad con cemento Portland, por ciento máximo					2	2
Carga de la partícula	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva		
pH, máximo					6.7	6.7
Disolvente en volumen, por ciento máximo	3	3	20	12		
<b>PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION</b>						
Penetración, 25°C 100 gramos, 5 segundos, grados	100-250	100-250	100-250	100-250	100-250	40-90
Solubilidad en CCl <sub>4</sub> , por ciento mínimo	97	97	97	97	97	97
Ductilidad, 25°C, centímetro, mínimo	40	40	40	40	40	40

Nota: La viscosidad de las emulsiones no debe aumentar más de 30 por ciento al bajar su temperatura de 20°C a 10°C, ni bajar más de 30 por ciento al subir su temperatura de 20°C a 40°C.

T A B L A N° 6



cos en que su medio cementante está en forma líquida, manteniéndose en solución por disolventes que si se eliminan dejarán como residuo un verdadero cemento asfáltico. Su carácter y comportamiento, cuando se utilizan como ligantes en pavimentación, dependen por tanto fundamentalmente del carácter y cantidad del disolvente presente.

El disolvente se lleva en el asfalto líquido para hacer un producto fluido y facilitar así su aplicación y manipulación en la construcción de carreteras. El disolvente viene a ser un sustituto del calor que se usa en el trabajo de alta calidad para hacer fluido el cemento asfáltico mientras está siendo procesado para ciertos trabajos. El solvente es más útil que el calor, porque su efecto licuante se extiende durante un período de tiempo más largo. La fluidez de un asfalto líquido es función de la cantidad del solvente contenido en el producto. Mientras más solvente existe, más fluido será el material. Un cemento asfáltico puede ser fluxado hasta llegar a una consistencia prácticamente igual a la del agua, con una gran cantidad de solvente.

La viscosidad de las emulsiones no debe aumentar más de treinta por ciento (30 %) al bajar su temperatura de veinte grados centígrados (20°C) a diez grados centígrados (10°C), ni bajar más de treinta por ciento (30 %) al subir su temperatura de veinte grados centígrados (20°C) a cuarenta grados centígrados (40°C).

Por otra parte, los materiales asfálticos deberán almacenarse en depósitos que reúnan los requisitos necesarios para evitarse contaminaciones y estarán protegidos contra incendios, fugas y pérdidas excesivas de disolventes.

Quando se usan asfaltos rebajados se contará con un calentador y una bomba para poder hacer las cargas a la petro

lizadora.

Las temperaturas de los materiales asfálticos en el momento de su empleo serán las siguientes:

1) Asfaltos rebajados de fraguado lento:

FL-0 de 20°C a 30°C

FL-1 de 30°C a 45°C

FL-2 de 75°C a 85°C

FL-3 de 85°C a 95°C

FL-4 de 95°C a 100°C

2) Asfaltos rebajados de fraguado medio:

FM-0 de 20°C a 40°C

FM-1 de 30°C a 60°C

FM-2 de 70°C a 85°C

FM-3 de 80°C a 95°C

FM-4 de 90°C a 100°C

3) Asfaltos rebajados de fraguado rápido:

FR-0 de 20°C a 40°C

FR-1 de 30°C a 50°C

FR-2 de 40°C a 60°C

FR-3 de 60°C a 80°C

FR-4 de 80°C a 100°C

4) Emulsiones asfálticas:

Por lo general no requieren calentamiento de 5°C a 40°C.

No deberán aplicarse riegos de materiales asfálticos - cuando la temperatura sea menor de 5°C, cuando haya amenaza de lluvia o cuando la velocidad del viento impida que la - aplicación sea uniforme.

## Constitución del Concreto Hidráulico.

La constitución del concreto hidráulico para pavimentos es básicamente la misma que la del concreto para otras estructuras. Esencialmente está constituido por los mismos ingredientes: cemento, agua, grava, arena, acero y aditivos químicos.

El concreto hidráulico que se emplea en pavimentos debe ser durable y resistente a las cargas y al desgaste; estas propiedades están directamente relacionadas entre sí, pues un concreto resistente a cargas por lo general es durable y resistente al desgaste por abrasión. La resistencia del concreto para pavimentos se mide por su resistencia a la flexión o módulo de rotura.

Las características principales de un concreto para pavimentos, son las siguientes.

### a) Cemento:

El cemento portland que se utiliza normalmente en pavimento es del Tipo I. Sin embargo, se nota en México cierta tendencia a preferir el uso del cemento Tipo III. A este respecto conviene decir que probablemente el mejor cemento para ser usado en pavimentos es el cemento Tipo I/P o Tipo II modificado y que en los E.E. U.U. existe una marcada preferencia por este tipo de cemento.

### b) Agua:

El agua que se emplee para el mezclado no deberá contener cantidades perjudiciales de gas carbónico libre, limo, materia orgánica, alcalis, aceites y sales. Generalmente bastará con que el agua sea potable para poder -

emplearse.

c) Grava:

La grava usada para elaborar el concreto deberá tener - "un tamaño máximo nominal" no mayor de 1/3 del espesor de la losa. Por lo tanto el concreto elaborado deberá pa- sar por las mallas cuadradas siguientes:

<u>TAMAÑO MAXIMO NOMINAL</u> <u>EN MM.</u>	<u>ABERTURA DE LA MALLA</u> <u>EN MM.</u>
50	75
40	50
25	40
20	25
15	20
13	20
10	15

El agregado grueso puede ser grava natural, grava tritu- rada o de otro tipo. Además deberá cumplir con los si- guientes requisitos.

1) Granulometría, según los valores siguientes:

<u>PASANDO</u> <u>MALLA</u> <u><math>\frac{3}{8}</math></u>	<u>TAMAÑO</u> <u>MAXIMO</u> <u>2"</u>	<u>TAMAÑO</u> <u>MAXIMO</u> <u>1 1/2"</u>	<u>TAMAÑO</u> <u>MAXIMO</u> <u>1"</u>	<u>TAMAÑO</u> <u>MAXIMO</u> <u>3/4"</u>
2"	100-95	100-95	-----	-----
1 1/2"	85-65	85-65	100-95	-----
1"	70-35	70-35	80-60	100-90
3/4"	50-25	50-21	60-30	75-50
1/2"	30-10	30-10	43-18	55-20

3/8"	20-8	5-0	10-0	10-0
Núm. 4	5-0	-----	-----	-----

2) La cantidad de sustancias deletéreas no excede los siguientes límites:

- i) Fragmentos suaves 5.0 % en peso como máx.
- ii) Grumos de arcilla 0.25 % en peso como máx.
- iii) Material pasando 1.0 % en peso como máx.  
malla núm. 200
- iv) Partículas alargadas cuya longitud es mayor 5 veces su espesor promedio.

3) El porcentaje de desgaste, según la prueba - "Los Angeles", 40 % máximo.

4) De sanidad, por la prueba de intemperismo acelerado, no más de 12 % de pérdida en peso.

d) Arena:

El concreto para pavimentos normalmente requiere contenidos bajos de arena, a semejanza con el concreto masivo. Sin embargo, los consumos de cemento usuales son altos y más semejantes a los del concreto estructural.

La arena que se utiliza en el concreto para pavimentos debe ser, preferentemente, arena de río, bien graduada, que cumpla con todos los requisitos normales y que contenga un cierto porcentaje de finos por debajo de las mallas 100 y 200. Se hace notar que las arenas gruesas, o

aquellas muy limpias con un contenido bajo de finos, pro  
pician el "sangrado" del concreto fresco; esta deficien-  
cia es posiblemente la que causa mayores daños a los pa-  
vimentos.

El agregado fino deberá cumplir los siguientes requisi-  
tos.

- 1) Granulometría comprendida entre los siguien-  
tes límites:

<u>MALLA</u>	<u>PORCENTAJE PASANDO</u>
3/8"	100
N°4	95-100
N°8	90-100
N°16	50-85
N°30	25-60
N°50	5-30
N°100	0-10

- 2) El módulo de finura (MF) no será menor de -  
2.30 ni mayor de 3.10

- 3) Contenido de sustancias perjudiciales.

Partículas de deleznales	1.0 % en peso máx.
Material que pasa la malla N°200 (por lavado)	3.0 % en peso máx.
Carbón y lignito	0.5 % en peso máx.
Polvo de trituración	5.0 % en peso máx.

- 4) Las impurezas orgánicas no serán en cantidad

tal, que al someter la arena a una solución de -  
sosa cáustica al 3 % en peso la coloración del -  
líquido a las 24 hrs. no sea más oscura que el  
color de un vidrio amarillo ámbar.

5) De intemperismo acelerado:

Pérdida en 5 ciclos	10% en peso, con sulfato de sodio.
	15% en peso, con sulfato de magnesio.

La pérdida deberá calcularse en una muestra que  
cumpla con la granulometría.

e) Aditivos:

Los aditivos son sustancias que se le añaden al concre-  
to en cantidades adecuadas para mejorar ciertas propiedades  
y obtener un concreto de calidad, esto no quiere de-  
cir que los aditivos suplan las deficiencias de las mez-  
clas, ya que generalmente en pavimentos de concreto cuando  
se empleen materiales de buena calidad y mano de obra  
adecuada, muy pocas veces es necesario usarlos.

De acuerdo con las condiciones especiales de cada obra -  
se autorizará por escrito el uso de algún aditivo reco-  
mendado por el laboratorio, los cuales pueden ser:

1) Acelerantes. Se emplean con el objeto de que  
se produzca con mayor rapidez el fraguado del  
cemento, el concreto alcance un porcentaje considera  
ble de su resistencia a edades cortas.



2) Retardantes. Estos aditivos se emplean cuando se requiere un tiempo mayor para la colocación - del concreto con objeto de retardar el tiempo de fraguado del concreto, no es muy recomendable el uso de estos aditivos debido a que afectan la re sistencia del concreto.

3) Inclusores del Aire. Para mejorar la trabajabilidad del concreto sin que se vea afectada su resistencia, se emplea un agente inclusor de - aire, cuyas cualidades y eficiencia hayan sido investigadas por el laboratorio, el volumen del aire que se incluya deberá estar comprendido entre 2.5 y 4.5 %.

## Bases.

La base es la capa de materiales seleccionados (grava cementada controlada) que se construye sobre la sub-base o sub-rasante (cuando la calidad de ésta es igual a la de la sub-base) y cuya función es soportar las cargas rodantes y transmitir las a las capas inferiores del pavimento, distribuyéndolas de tal forma que no produzcan deformaciones perjudiciales en éstas.

Cuando la sub-base haya sido recibida a completa satisfacción, se procederá al tendido de la capa de base con el espesor adecuado para el tipo de la obra vial por ejecutar y tomando en cuenta lo siguiente:

a) Cuando en el diseño empleado sobre la base se coloque la carpeta asfáltica, el espesor mínimo de base será de 25 cm. de material compacto.

b) Cuando el diseño del pavimento marque base asfáltica sobre la base hidrostática, el espesor mínimo de esta capa deberá ser de 10 cm. de material compacto.

Cuando se tenga la totalidad del material de base para una capa, deberá mezclarse perfectamente con la motoconformadora hasta uniformizar la humedad que deberá ser lo más cercana a la óptima.

Una vez alcanzada dicha humedad, se procederá al tendido de la base y al compacto de la capa por medio de planchas de rodillos lisos de 10 a 12 toneladas o Duo-Factor y se efectuará de la orilla hacia el centro, en fajas longitudinales a toda rueda con traslape de 10 cm.

La compactación se considerará satisfactoria cuando el material alcance un grado mínimo del 98% de su peso volumétrico seco máximo, verificado mediante pruebas de laboratorio, las cuales se efectuarán hasta que no se marquen las huellas de las ruedas.

La superficie deberá quedar perfectamente afinada, con textura uniforme sin ondulaciones y estará de acuerdo con las pendientes longitudinales y transversales que fije el proyecto tampoco deberán existir baches.

Se recomienda que al terminar la compactación en la base y cuando esta se encuentre seca superficialmente, se aplique el riego de impregnación con objeto de evitar desintegración a causa del tránsito o de las lluvias. No se deberá de conservar esta superficie a base de riegos de agua o compactaciones, ya que se originan encarpetamientos y texturas cerradas que impedirán la correcta penetración del riego de impregnación. Cuando cualquiera de estas causas deteriore la superficie de la base y se tenga duda del grado de compactación de la misma se escarificará superficialmente esta capa hasta levantarla completamente y volverla a compactar verificada por pruebas de laboratorio.

Los materiales empleados como bases deberán cumplir con los siguientes requisitos físicos:

1) De granulometría:

<u>MALLA</u>	<u>ZONA 1</u>	<u>ZONA 2</u>
50 mm (2")	100	-----
25 mm (1")	59-100	100
10 mm (3/8")	40-65	65-100

5 mm (Núm.4)	30-50	50-80
2 mm (Núm.10)	20-38	38-60
0.5 mm (Núm. 40)	11-20	20-38
0.075 mm (Núm.200)	5-10	10-19

La curva granulométrica del material deberá quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el superior de la zona 2.

La curva granulométrica deberá afectar una forma semejante a la de las curvas que limitan las zonas y no tener cambios bruscos de pendiente.

La relación del porcentaje en peso que pasa de la N°200 al que pasa la N°40 no deberá ser superior a 0.65.

2) De contracción lineal, valor cementante, valor relativo de soporte, tamaño máximo y peso volumétrico seco máximo (tentativo) las siguientes:

PRUEBAS

ZONAS GRANULOMETRICAS DEL

	<u>ZONA 1</u>	<u>ZONA 2</u>
Contracción lineal, %	3.5 máx.	2.0 máx.
Valor cementante, kg/cm <sup>2</sup>	4.5 mín.	3.5 mín.
Valor relativo de soporte, %	80 mín	80 mín.
Tamaño máximo del agregado, pulg.	1 1/2" máx.	1 1/2" máx.
Peso volumétrico seco máximo - kg/m <sup>3</sup>	1,800 mín	1,800 mín.

### Sub-Base.

La sub-base es la capa de materiales seleccionados (grava cementada) que se construye sobre la subrasante o mejoramiento y cuya función es soportar las cargas rodantes y - transmitir las a las terracerías, distribuyéndolas de tal forma que no se produzcan deformaciones permanentes en éstas.

Una vez que la terracería o mejoramiento se haya compactado y afinado, se procederá al tendido del material de sub-base en los espesores fijados, de acuerdo con el diseño de pavimento establecido para cada obra; debiendo tener este material características poco arcillosas.

Se calculará volúmen del material acamellonado de tal manera que no se tiendan capas mayores de 15 cm. de espesor de material compacto.

Cuando se tenga la totalidad de material de sub-base para una capa, deberá mezclarse perfectamente con la motoconformadora hasta uniformizar la humedad que deberá ser lo más cercana a la óptima.

Una vez alcanzada dicha humedad, se procederá al tendido de la sub-base y al compacto de la capa por medio de planchas de rodillos lisos de 10 a 12 tons. o Duo Factor y se efectuará de la orilla hacia el centro, en fajas longitudinales a toda rueda con traslape de 10 centímetros.

La compactación se considerará satisfactoria cuando el material alcance un grado mínimo del 95 % de su P.V.S. máx. en todo el espesor y deberá verificarse mediante pruebas de laboratorio, las cuales se harán hasta que no haya huellas de las ruedas de las compactadoras.

La superficie deberá quedar perfectamente afinada y nivelada de acuerdo con las pendientes longitudinales y transversales que fije el proyecto y exenta de baches; los cuales en caso de existir, deberán ser extraídos y repuestos con material adecuado (dándoles la compactación especificada), antes de proceder al tendido de la siguiente capa de sub-base o base.

Los materiales empleados como sub-base deberán cumplir con los siguientes requisitos físicos:

1) De granulometría:

<u>MALLA</u>	<u>ZONA 1</u>	<u>ZONA 2</u>	<u>ZONA 3</u>
50 mm (2")	100	-----	-----
25 mm (1")	59-100	100 --	-----
10 mm (3/8")	40-65	65-100	100 --
5 mm (Núm.4)	30-50	50-80	80 ---
2 mm (Núm.10)	20-38	38-60	60-100
0.5 mm (Núm.40)	11-20	20-38	38-70
0.075 mm (Núm.200)	5-10	10-19	19-25

La curva de granulometría del material deberá quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el superior de la zona 3.

La curva granulométrica deberá adoptar una forma semejante a la de las curvas que limitan las zonas y no tener cambios bruscos de pendiente.

La relación del porcentaje en peso que pasa de la malla N° 200 al que pasa la N°40 no deberá ser superior a 0.65.

2) De contracción lineal valor cementante, valor relativo de soporte, tamaño máximo y peso volumétrico seco máximo las siguientes:

<u>PRUEBAS</u>	<u>Zonas granulométricas del material</u>		
	<u>ZONA 1</u>	<u>ZONA 2</u>	<u>ZONA 3</u>
Contracción lineal %	4.5 máx.	4.5 máx.	2.5 máx.
Valor cementante, $\text{kg}/\text{cm}^2$	3.5 mín.	2.5 mín.	2.5 mín.
Valor relativo de soporte %	50 mín.	50 mín.	50 mín.
Tamaño máximo del agregado, pulg.	2 1/2" máx.	2 1/2" máx.	1 1/2" máx.
Peso volumétrico seco máximo $\text{kg}/\text{cm}^3$	1700 mín.	1700 mín.	1700 mín.

o menos en casos especiales.

Las sub-bases en los pavimentos de concreto, tienen una función complementaria de una mala subrasante y se les asigna poco valor estructural, siendo su uso en los siguientes casos:

- 1) Si el pavimento va a tener tránsito intenso.
- 2) Si el suelo de la subrasante es fino y plástico.

En los pavimentos rígidos de concreto, se incluye una capa sub-base para:

- 1) Prevenir falla por bombeo de la subrasante.
- 2) Para proteger de las heladas a la subrasante.
- 3) Para contrarrestar los cambios volumétricos.

(expansión y contracción) de la subrasante.

- 4) Para aumentar la capacidad soportante de la subrasante.
- 5) Como auxiliar en la construcción.

En nuestro país, pocas regiones padecen fuertes heladas, el tiempo necesario para perjudicar el suelo de la subrasante. Sólo queda el caso de construir un pavimento de concreto, sobre una subrasante muy arcillosa. En este caso, basta incluir una capa sub-base de 10 cm. de espesor, para contrarestar las expansiones del suelo arcilloso. En algunos casos, el suelo de la subrasante puede ser muy arenoso y para facilitar la construcción sobre este material conviene mejorar la superficie de la subrasante.

La calidad de un material para sub-base o base, como - también se le llama en los pavimentos de concreto, no necesariamente debe ser la misma que para las bases de pavimento flexible, en donde si tienen una función estructural. Esa capa intermedia, entre la losa de concreto y la subrasante, debe tener mejor calidad que la subrasante, pero puede ser de menor calidad que la base de pavimentos flexibles, aumentando, si es necesario, su espesor para aprovechar los materiales locales.



## Mejoramientos.

Se entiende por mejoramiento al material limoso cuya calidad debe ser superior a la del material de subrasante existente en la zona, donde pretende emplearse.

Quando el material de subrasante sea de mala calidad, - con valores relativos de soporte menores del 5 % o un índice plástico superior a 20, será necesario colocar material de mejoramiento que integrará la capa subrasante, de acuerdo con el diseño del pavimento.

### a) Mejoramiento de tepetate.

Quando la subrasante o terracería presenta contenidos de humedad superiores a la óptima, deberá eliminarse este material y substituirse por material que cumpla con las especificaciones de mejoramiento compactada al 90 % de su P. V. S. máximo en todo el espesor substituído.

Habrà casos en que no pueda eliminarse todo el material inadecuado (con exceso de humedad) por la proximidad del nivel de aguas frèaticas. Se indicará en cada caso específico el procedimiento a seguir ya sea incrustando grava en greña para estabilizar la subrasante, colocar filtros o mediante el empleo de cal o cemento.

Los materiales empleados como mejoramiento, deberán cumplir con los siguientes requisitos físicos:

#### 1) De granulometría:

<u>MALLA</u>	<u>ZONA 1</u>	<u>ZONA 2</u>	<u>ZONA 3</u>
50 mm (2")	100 --	-----	-----
25 mm (1")	59-100	100 --	-----
10 mm (3/8")	40-65	65-100	100 --
5 mm (Núm. 4)	30-50	50-80	80 ---
2 mm (Núm. 10)	20-38	38-60	60-100
0.5 mm (Núm. 40)	11-20	20-38	38-70
0.075 mm (Núm. 200)	5-10	10-19	19-25

La curva granulométrica del material deberá quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el superior de la zona 3.

La curva granulométrica deberá adoptar una forma semejante a la de las curvas que limitan las zonas y no tener cambios de pendientes.

La relación de porcentaje en peso que pasa la malla N°200 al que pasa la N°40 no deberá ser superior a 0.65.

2) De contracción lineal, valor cementante, valor relativo de soporte y peso volumétrico seco máximo.

### PRUEBAS

#### Zonas granulométricas de material

	<u>ZONA 1</u>	<u>ZONA 2</u>	<u>ZONA 3</u>
Contracción lineal %	6.0 máx.	5.0 máx.	4.5 máx.
Valor cementante, kg/cm <sup>2</sup>	5.5 mín.	4.5 mín.	3.5 mín.
Valor relativo de soporte %	10 mín.	10 mín.	10 mín.
Tamaño máximo del agregado, pulg.	3" máx.	3" máx.	3" máx.

Peso volumétrico seco máximo, kg/m<sup>3</sup>      1450 mín.      1450 mín.      1450 mín.

b) Mejoramiento de material pétreo:

Cuando la pavimentación se va a efectuar en terracerías excesivamente arcillosas o húmedas en las cuales existe rebote elástico y es difícil que se logre el grado de compactación especificado del 90 % de su P.V.S. máximo será necesario colocar una capa de 20 cm. de espesor de material pétreo o granular, cuya granulometría esté comprendida entre las malla de 3" a N°4, este agregado deberá ir perfectamente acomodado mediante varias pasadas del equipo de construcción o de compactación que de preferencia será de rodillos lisos de 3 ruedas con peso de 12 toneladas.

El objeto de esta capa de material pétreo es proporcionar a la terracería mayor estabilidad, soporte o cama de trabajo y evitar que el agua ascienda por capilaridad a las capas superiores del pavimento.

## Estabilización de suelos.

Como el nombre lo indica, con este recurso se pretende - hacer más "estable" a un suelo. La primera y la que siempre acompaña a todas las estabilizaciones, es la de aumentar la densidad de un suelo, compactándolo mecánicamente. La segunda estabilización usada es la de mezclar a un material de - granulometría gruesa, con otro que carece de esa caracterís- tica. Finalmente, está el recurso de estabilizar un suelo, mezclándole cemento portland, cal hidratada, asfalto o cloru- ro de sodio.

Se debe recordar que la estabilización es un asunto eco- nómico. Que hay casos en los que es mejor y más barato recu- rrir a un mejoramiento del suelo del lugar, que transportar otro material desde grandes distancias.

Los siguientes casos pueden justificar una estabiliza- ción:

- a) Un suelo de subrasante desfavorable, o muy arenoso o muy arcilloso.
- b) Materiales para base o sub-base en el límite de espe- cificaciones.
- c) Condiciones de humeridad desfavorables.
- d) Cuando se necesite una base de calidad superior, como en una autopista.
- e) En repavimentación, aprovechando los materiales exis- tentes.

Los suelos arenosos y arcillosos cuando tienen una cantidad adecuada de humedad de acuerdo con su naturaleza, normalmente son estables, sin embargo, en cuanto varían sus contenidos de agua se convierten en polvo o en barro, perdiendo considerablemente sus propiedades soporte.

Con objeto de que los contenidos de agua en los suelos - dentro de condiciones normales, varíen solamente entre límites muy pequeños y que éstos no sufran alteraciones en sus resistencias, será necesario añadir y mezclar con el suelo - diferentes productos tales como cal y cemento, estabilizando y mejorando sus características.

En general todos los tipos de estabilización deberán cumplir con las siguientes condiciones:

- 1) El suelo estabilizado deberá tener el soporte necesario para resistir las cargas que transmitan las capas superiores del pavimento, en condiciones críticas de humedad de acuerdo con las características de drenaje.
- 2) De acuerdo con las características físicas cada suelo, deberá utilizarse el producto adecuado, para obtener resultados satisfactorios.
- 3) La mezcla obtenida deberá ser completamente homogénea.
- 4) El suelo estabilizado se compactará con una humedad cercana a la óptima hasta alcanzar el grado mínimo de compactación especificada, con objeto de garantizar la máxima resistencia.

5) Cuando se emplee un producto estabilizador, habrá que poner cuidado con sus tiempos de fraguado, de acuerdo con las características del mismo.

## Suelo-Cal.

El uso de cal para mejorar suelos con mayor plasticidad, aparte de conseguir ese fin aumenta también su resistencia a la compresión sin confinar, produciendo una textura granular más abierta.

La cantidad de cal es de un 2 a 8 % en peso. Para que la cal reaccione convenientemente (se necesita que el suelo tenga minerales arcillosos, o sea sílice y alúmina), y se pueda lograr la acción puzolánica, que aglomerará adecuadamente las partículas del suelo.

El suelo-cal, necesita la reacción química de los iones calcio y los minerales arcillosos, que lentamente adquieren resistencia. Una ventaja del suelo-cal es que su período de curado puede iniciarse más tarde, en cambio, el suelo-cemento requiere curado inmediato.

Se debe recordar que las arenas, por lo general no reaccionan favorablemente con la cal y no pueden estabilizarse con ella. El éxito de la estabilización con cal, no es sólo para disminuir plasticidad, sino para adquirir resistencia, en el tipo de suelo o el tipo de mineral arcilloso que contenga.

El criterio para diseñar en el laboratorio las mezclas, suelo-cal depende del papel que vaya a desempeñar la cal:

- a) Modificador de plasticidad o humedad.
- b) Proporcionador de resistencia.

Para verificar si un suelo pierde plasticidad mezclándolo con cal, se determina su índice de plasticidad y su porcentaje de contracción lineal antes y después de agregar la

cal. Cuando se desea adquirir resistencia, existe el problema de que no todos los suelos desarrollan rápido su resistencia con la cal, se ha establecido el criterio de que si una mezcla suelo-cal se prueba a la compresión sin confinar (probeta cilíndrica proctor) inmediatamente después de compactarse, si se obtienen  $7 \text{ kg/cm}^2$ , la mezcla es adecuada.

El procedimiento de construcción es el siguiente:

- 1) Se escarifican cuando menos 20 centímetros de las terracerías por tratarse formando camellones.
- 2) Se adicionará la cal hidratada en el porcentaje que determine el laboratorio.
- 3) Se revolverá la terracería con su humedad natural y la cal hidratada con motoconformadora - hasta formar una mezcla completamente homogénea, si ésta contiene una humedad cercana a la óptima se procederá a tenderla, si le falta humedad, se adicionará el agua necesaria y se volverá a mezclar con la motoconformadora y después se tenderá. Las máquinas para la ejecución de la mezcla y extendido en una sola pasada, por su costo tan elevado solo se recomienda emplearlas en trabajos muy importantes.
- 4) Una vez tendida la terracería estabilizada se procederá a compactarla con rodillos lisos de 12 toneladas hasta alcanzar el grado mínimo especificado que estará comprendido entre 90 y 95 % de su Peso Volumétrico Seco Máximo.



5) De ser posible y sin que se altere el programa normal de construcción, será conveniente dejar la terracería estabilizada y compactada expuesta cuando menos 3 días, para mejorar sus características mediante la carbonatación del hidróxido de calcio.

## Suelo-cemento.

La estabilización de suelo con cemento portland, es la más ampliamente usada en el mundo. Es muy sencilla de hacer y no se necesita equipo especial de construcción. El cemento portland se elabora con materias primas abundantes; calizas y arcillas.

En nuestro país no se han usado mucho las capas de suelo-cemento. Sólo se emplea el cemento como un material que sirve para disminuir la plasticidad en suelos fuera de especificaciones. Este papel de modificador o destufador, es muy limitado para el cemento.

Al mezclar un suelo con cemento, se produce un nuevo material, duro, con mejores características que el usado como agregado. Esta estabilización no es tan sensible a la humedad como la hecha con asfalto. Pueden usarse todos los suelos para efectuarla, excepto los altamente orgánicos, aunque los más convenientes son los granulares, de fácil disgregado. Los limos, las arenas limosas y arcillosas, así como los tepetates, todas las gravas y las arenas, son agregados adecuados para producir este material suelo-cemento, que tiene tan excelentes cualidades; con respecto a la de los suelos granulares son:

- a) Es más resistente y como capa base reparte las cargas a una mayor área permitiendo así reducir el espesor de las capas. Espesor de suelo-cemento igual a 0.6 espesor suelo granular.
- b) Tiene mayor módulo de elasticidad.
- c) Es más impermeable.

d) Es muy resistente a la erosión del agua.

e) En presencia de la humedad, en lugar de perder resistencia, la aumenta bastante.

f) Al secarse no pierde compactación, como muchos suelos granulares.

g) Su resistencia aumenta bastante con el tiempo. Es mayor ese incremento que en el concreto normal.

La cantidad de cemento necesario varía con el tipo de suelo, siendo menor si el suelo es poco arcilloso. Para limos finos arenosos, con  $50 \text{ kg/m}^3$  de suelo compactado, puede producirse una base o sub-base de buena calidad. Con cantidades de cemento de  $100 \text{ kg/m}^3$  de suelo compacto, se obtiene un material para base que supera el obtenido con grava triturada y con menor costo. Estas cantidades corresponden a un 3 a 6 % en peso.

Si se dispone de una planta mezcladora será para hacer la mezcla de mejor calidad. Si no esta se puede hacer con motoconformadora, aumentando ligeramente el cemento, por las deficiencias del mezclado.

Con dos motoconformadoras se puede hacer, entre mezclados y tendido, tramos de suelo-cemento de 200 metros de largo, 15 metros de ancho y un espesor de 10 ó 20 centímetros en una jornada de 4 a 6 horas. Este es el tiempo máximo para empezar a compactar la mezcla, y se usa el mismo equipo que para suelos sin cemento.

Como norma general, se puede decir que las características que debe cumplir un material para que pueda estabilizarse con cemento en condiciones económicamente aceptables deben ser las siguientes:

- 1) Límite líquido inferior al 50 %
- 2) Índice plástico inferior al 25 %
- 3) Cantidad de arcilla menor al 35 %
- 4) La curva peso volumétrico seco % humedad, - obtenida de la prueba proctor debe ser regular, es decir los pesos volúmetricos deben - aumentar al crecer la humedad, hasta llegar a un máximo y descender en forma análoga.

El procedimiento de construcción es el siguiente:

a) Una vez determinado el porcentaje de cemento para la estabilización de una terracería (verificando la justificación económica) el procedimiento de construcción será semejante al empleado en las estabilizaciones con cal hidratada, pero tomando en cuenta las siguientes modificaciones:

- 1) No se adicionará el cemento cuando la humedad de la terracería excede a la óptima, ya que se formarán grumos difícil de disgregarse.
- 2) Una vez humedecida la mezcla se deberá tender y compactar antes de que se inicie el fraguado del cemento.

## Subrasantes.

Los últimos 30 centímetros de una terracería, de corte o terraplén se conocen como capa subrasante, o simplemente subrasante. Esta capa es muy importante para los pavimentos ya que constituye su cimiento.

Es muy importante que el nivel de aguas freáticas este cuando menos a 50 centímetros abajo de la subrasante. Esto se consigue drenando el subsuelo o terraplenando para elevar la subrasante.

Para diseñar adecuadamente un pavimento, principalmente los de tipo flexible, se deben hacer extensos estudios del suelo de la subrasante, tanto en el campo como en el laboratorio, existen muchos métodos y pruebas para determinar su calidad incluyendo granulometría, plasticidad, compresibilidad, resistencia y relaciones humedad-densidad.

Para saber si una subrasante dada, o si el suelo que está en la parte superior de una terracería, corresponde a una cierta calidad, debemos conocer, cuando menos, su granulometría simplificada, su plasticidad y principalmente su valor relativo de soporte o VRS o CBR como se le conoce mundialmente.

Si un suelo tiene un valor relativo de soporte cercano al 40 %, ya tiene calidad de sub-base regular. Si tiene 50 % o más es una sub-base buena.

## CAPITULO IV

### ELABORACION Y COLOCACION DE PAVIMENTOS

#### Carpeta Asfáltica de Tratamientos Superficiales.

Los materiales pétreos que se empleen en la construcción de carpetas asfálticas por el sistema de riego, se denominarán como se indica a continuación:

<u>DENOMINACION DEL MATERIAL PETREO</u>	<u>QUE PASE POR MALLA</u>	<u>Y SE RETENGA EN MALLA</u>
1	25.4 mm. (1")	12.7 (1/2")
2	12.7 mm. (1/2")	6.3 (1/4")
3-A	9.5 mm. (3/8")	Núm. 4
3-B	6.3 mm. (1/4")	Núm. 8
3-E	9.5 mm. (3/8")	Núm. 4

y debe cumplir las siguientes granulometrías:

	<u>MALLA</u>	<u>CONDICIONES</u>	<u>DENOMINACION DEL MATERIAL PETREO</u>				<u>3E</u>
			<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3A</u>	<u>3B</u>	
De 31.8 mm (1 1/4")		Debe pasar	100%				
De 25.4 mm (1")		Debe pasar	95% mín				
De 19.1 mm (3/4")		Debe pasar		100%			
De 12.7 mm (1/2")		Debe pasar		95% mín	100%		100%

	Debe retenerse 95% mín			
De 9.5 mm (3/8")	Debe pasar	95% mín	100%	95% mín
De 6.3 mm (1/4")	Debe pasar		95% mín	
	Debe retenerse	95% mín		
Núm. 4	Debe retenerse			95% mín
Núm. 8	Debe retenerse	100%	95% mín	95% mín 100%
Núm. 40	Debe retenerse	100%	100%	

Además estarán libres de polvo, de materia orgánica y de cualquier otro material extraño al pétreo, su humedad será como máximo la humedad de absorción y deberán pasar las siguientes pruebas:

- a) De desgaste Los Angeles, para cualquier tipo de material pétreo. 30% máx.
- b) De intemperismo acelerado. 12% máx.
- c) De forma de las partículas, para partículas alargadas y/o en forma de laja. 35% máx.
- d) De afinidad con el asfalto:
  - 1) Desprendimiento por fricción. 25% máx.
  - 2) Cubrimiento con asfalto. 90% mín.

A) Carpeta de un Riego (hasta 200 vehiculos/día):

- 1) Después que la imprimación haya curado durante 24 hr. por lo menos, se aplica sobre la base ya barrida un riego de producto asfáltico FR-3 a razón de 1.5 a 2 lts/m<sup>2</sup>.
- 2) Se cubre el riego de material asfáltico con una capa de material pétreo clase 3-A, a razón de 6 a 8 lts/m<sup>2</sup>

- 3) Se rastreará y planchará el material pétreo, para uniformisar y compactar, con una aplanadora libiana de 5 a 8 ton.
- 4) Transcurrido un tiempo no menor de tres días se recolectará y removerá el material pétreo excedente que no se adhiera al material asfáltico del riego.

B) Carpeta de Dos Riegos (hasta 600 vehículos/día).

- 1) Se barrerá y secará la base impregnada.
- 2) Sobre la base superficialmente seca se dará un riego de material asfáltico, generalmente FR-3, o emulsiones de rompimiento rápido a razón de 2 lts/m<sup>2</sup>.
- 3) Se cubrirá el riego de material asfáltico con una capa de material pétreo número 2, a razón de 12 a 14 - lts/m<sup>2</sup>.
- 4) Se rastreará y planchará el material pétreo con una aplanadora libiana de 5 a 8 ton.
- 5) A los 2 ó 3 días se barre y se dará sobre el material pétreo un segundo riego de material asfáltico FR-3 a razón de 1.5 a 2 lts/m<sup>2</sup>.
- 6) Se cubrirá el segundo riego de material asfáltico con una capa de material pétreo 3-B, a razón de 5 a 6 - lts/m<sup>2</sup>.
- 7) Se rastreará y planchará el material pétreo con una aplanadora libiana de 5 a 8 ton.



- 8) Transcurrido un tiempo no menor de tres días se recolectará y removerá el material pétreo 3-B excedente que no se adhiere al material asfáltico del segundo riego.

C) Carpeta de Tres Riegos (hasta 1000 vehiculos/día).

- 1) Se barrerá y secará la base impregnada.
- 2) Sobre la base superficialmente seca se dará un riego de material asfáltico, generalmente FR-3, o emulsiones de rompimiento rápido a razón de  $2 \frac{1}{2}$  lts/m<sup>2</sup>.
- 3) Se cubrirá el riego de material asfáltico con una capa de material pétreo número 1 a razón de 20 a 22 - lts/m<sup>2</sup>.
- 4) Se rastreará y planchará el material pétreo con aplanadora libiana de 5 a 8 ton.
- 5) Después de 3 días se barre y se dará un segundo riego de material asfáltico, generalmente FR-3, o emulsión de rompimiento rápido a razón de 2 lts/m<sup>2</sup>.
- 6) Se cubrirá el riego de material asfáltico con una capa de material pétreo número 2, a razón de 12 a 14 - lts/m<sup>2</sup>.
- 7) Se rastreará y planchará el material pétreo con una aplanadora libiana de 5 a 8 ton.
- 8) A los 2 ó 3 días se barrerá y dará sobre el material pétreo un segundo riego de material asfáltico FR-3 a razón de 1.5 a 2 lts/m<sup>2</sup>.

- 9) Se cubrirá el riego de material asfáltico con una capa de material pétreo 3-B, a razón de 5 a 6 lts/m<sup>2</sup>.
- 10) Se rastreará y planchará el material pétreo con una aplanadora libiana de 5 a 8 ton.
- 11) Transcurrido un tiempo no menor de 3 días se recolectará y removerá el material pétreo 3-B excedente que no se adhiera al material asfáltico del tercer riego.

En el proceso de trabajo de las carpetas por el sistema de riegos, la aplicación de material pétreo deberá hacerse inmediatamente después de aplicado el material asfáltico. Entre la terminación de la capa correspondiente al material pétreo y el siguiente riego de material asfáltico deberá transcurrir un lapso que en general, no será mayor de cuatro días.

Inmediatamente después de tendido el material pétreo, para tener una mejor distribución del mismo, se le pasará una rastra ligera con cepillo de fibra o de raíz, dejado así la superficie exenta de ondulaciones, bordos y depresiones.

Los materiales pétreos, tendidos y rastreados se plancharán inmediatamente con rodillo liso ligero, únicamente para acomodar las partículas del material, teniendo especial cuidado en el planchado de los materiales pétreos 3, para no fracturar las partículas del material pétreo por exceso de planchado.

Los materiales pétreos 3, acomodados con rodillo liso, se plancharán inmediatamente con compactados de llantas neumáticas, pasando una rastra con cepillo de fibra o de raíz las veces que se considere necesario para mantener uniformemente distribuido el material y evitar que se formen bordos

y ondulaciones. Los compactadores de llantas neumáticas deberán tener un peso máximo de cuatro mil quinientos kilogramos y se pasarán alternativamente con la rastra el número de veces que sea necesario para asegurar que el máximo del material pétreo se ha adherido al material asfáltico; cuando se abra al tránsito el tramo, se continuará rastreando para evitar que se formen ondulaciones con el material pétreo excedente. Cuando se observa que ya no se adhiere más material pétreo y no antes de tres días se recolectará todo el sobrante con cepillo de fibra o raíz.

Todos los planchados, cualquiera que sea el tipo de rodillo o compactador usado, se harán: en las tangentes, de las orillas de la carpeta hacia el centro; y en las curvas, del lado interior hacia el lado exterior.

Durante la construcción de estas carpetas no deberá permitirse el tránsito de vehículos sobre ellas. Asimismo, esta suspensión deberá continuar por un período no menor de veinticuatro horas, después del tendido y planchado de material

3.

Las cantidades de cemento asfáltico y materiales pétreos en  $\text{lbs}/\text{m}^2$  para estas carpetas se observan en la TABLA 7:

M A T E R I A L E S (1) (2)	T I P O D E C A R P E T A		
	3 R I E G O S	2 R I E G O S	1 R I E G O
Cemento asfáltico	0.6-1.1		
Material pétreo N°1	20-25		
Cemento asfáltico	1.0-1.4	0.6-1.1	
Material pétreo N°2	8-12	8-12	
Cemento asfáltico			0.7-1.0
Material pétreo N°3-A			8-10
Cemento asfáltico	0.7-1.0	0.8-1.1	
Material pétreo N°3-B	6-8	6-8	
Cemento asfáltico			0.8-1.0
Material pétreo N°3-E			9-11

Notas: (1) El cemento asfáltico considerado en esta tabla se refiere al que existe en los materiales asfálticos que se empleen.

(2) Para calcular la cantidad de material asfáltico - por aplicar, deberá dividirse el valor anotado en esta tabla, entre el contenido de cemento que presenta el material asfáltico utilizado, ambos expresados en litros.

T A B L A N° 7

### Macadam Asfáltico o de Penetración.

El macadam asfáltico o de penetración es una carpeta asfáltica que consiste de capas sucesivas de piedras progresivamente más pequeñas de abajo hacia arriba, limpias y angulosas. Cada capa se extiende y se acuña mediante compactación por vibración después de lo cual se baña con producto asfáltico.

Es necesario contar con una buena base ya que siendo el macadam asfáltico una carpeta que presenta gran porcentaje de vacíos, principalmente en la parte inferior de la capa, si la base se reblandece, el paso constante de los vehículos obligará a que la base se incruste en la carpeta provocándose una deformación perjudicial.

El orden de las operaciones de construcción es el siguiente:

Encontrándose la base debidamente compactada, impregnada, limpia y seca se da la primera aplicación de agregado grueso con un esparcidor o con una tolva esparcidora adaptada a un camión de volteo. Esta capa se compacta con aplanadora de 10 a 12 toneladas o preferentemente con un vibrador, para acomodar el agregado en su sitio. Estando compactada esta capa, se le da una aplicación de producto asfáltico.

Para la segunda aplicación de agregados de tamaños menores y en menor cantidad, esparcida uniformemente para rellenar los huecos dejados en la primera capa. Deben emplearse rastras para ayudar a distribuir este agregado de cierre. - Sigue inmediatamente la compactación con aplanadora de 10 a 12 toneladas según vibrador, mientras el asfalto está todavía caliente para lograr así una mejor unión. Se da entonces la nueva aplicación del mismo producto asfáltico aplicado en menor cantidad.

La tercera aplicación es inmediata con una cantidad y tamaño aún menor de agregado de cierre que actúa como riego de sello. Se da luego una combinación de rastra y compactación con el fin de llenar los huecos y tener una textura uniforme.

El primer material pétreo empleado se conoce como material grueso, el segundo como material de encaje, y el tercero como material fino. Se han descrito tres pasadas que es el número más común, pero pueden ser cuatro o más.

El producto asfáltico empleado es generalmente el FR-3, entre 65°C y 95°C, pero puede emplearse cualquier tipo según el clima. El agregado grueso del tamaño retenido en la malla de 1 1/8" no contendrá más del 5% de cantos planos o alargados cuya longitud exceda de tres veces su dimensión menor.

La graduación del material debe estar de acuerdo con lo siguiente:

% en peso del material que pasa las mallas:

<u>MALLA</u>	<u>MATERIAL GRUESO</u>	<u>MATERIAL DE ENCAJE</u>	<u>MATERIAL FINO</u>
2 1/4"	100		
2"	90-100		
1 1/2"	30-55		
1 1/4"	0-15		
1"	0-5		
3/4"		100	
5/8"		90-100	100
1/2"		40-70	90-100
3/8"		0-15	30-50
N° 4		0-5	0-8
N°10			0-3

Las cantidades de materiales a emplearse pueden ser los siguientes:

Agregado grueso	100 kg/m <sup>2</sup>
Producto asfáltico FR-3	3.5 a 5 lts/m <sup>2</sup>
Agregado de encaje	20 kg/m <sup>2</sup>
Producto asfáltico FR-3	1.5 a 2 lts/m <sup>2</sup>
Agregado fino	10 kg/m <sup>2</sup>

Las cantidades anteriores son aproximadas, dependiendo de los huecos de la superficie, la porosidad del agregado - pétreo y de su peso volumétrico.

## Carpeta de Mezcla en el Lugar o Camino

La mezcla en el camino es un sistema muy empleado en la ejecución de las carpetas asfálticas y que consiste en mezclar el agregado pétreo con el producto asfáltico en el camino y utilizando el sol y el aire para quitar la humedad al agregado pétreo.

Hay tres sistemas para mezclar los materiales pétreos con los productos asfálticos, y son con motoconformadora, usando mezcladoras mecánicas y en planta móvil. En cuanto a las operaciones por ejecutar son esencialmente las mismas, se tiende y compacta la mezcla al espesor fijado. La cantidad de asfalto varía con la granulometría y puede variar de 3 a 6 %. Estas carpetas pueden tener un espesor de 4 a 7 cm. y su calidad es superior a la de tratamientos superficiales.

Los materiales asfálticos para los riegos de liga serán asfaltos rebajados de fraguado rápido o emulsiones de rompimiento rápido, y aditivo adecuado cuando se requiere mejorar la adherencia.

Para la construcción de la carpeta por el sistema de mezcla en el lugar, se tomará en cuenta lo siguiente:

- a) La superficie en que se vaya a construir la carpeta - deberá ser barrida.
- b) En aquellos casos en los que el material presente deficiencias granulométricas, se procederá a corregirlo, mediante la adición y mezcla de uno o más materiales apropiados para el caso.
- c) Se dará un riego de liga, antes del tendido de la carpeta, a razón de 0.3 a 0.5 lts/m<sup>2</sup>; este riego puede -



quedar rayado.

- d) Para dosificar las mezclas de materiales pétreos, se determinarán los coeficientes de variación volumétrica por mezclado y compactación, en forma similar al caso de sub-base y bases.
- e) La aplicación del asfalto se efectuará con petrolizadora, excepto cuando se utilice equipo mezclado que tenga sistema propio de aplicación.
- f) Cuando no se utilice mezcladora móvil, el mezclado se efectuará con motoconformadora.
- g) No se aplicará asfalto si los materiales pétreos tienen humedad superior a la de absorción; excepto cuando se utilicen emulsiones.
- h) Cuando se utilicen emulsiones se debe aplicar al material pétreo, el agua que se estime necesaria.
- i) Las mezclas asfálticas se curarán el tiempo necesario para tenerlas en condiciones de tenderlas y compactarlas. En el caso de los asfaltos rebajados se controlará el contenido K de solventes.
- j) Una vez curadas las mezclas, se tenderán en el ancho y con el espesor de proyecto; para esto se utilizará motoconformadora o cualquier otro equipo adecuado.
- k) La mezcla se compactará a 95 % principiando con un rodillo liso tandem para el acomodo inicial; se continúa con rodillo neumático y se termina con plancha lisa de 12 toneladas para borrar huellas. Se procurará compactar a las horas de más calor.

- l) Se compactará en sentido longitudinal, de las orillas al centro en tangente y de la parte interior a lo exterior en las curvas.
- m) Se recortaran las orillas conforme a lo señalado en el proyecto.
- n) Cuando la permeabilidad de las carpetas en carreteras sea mayor de 10 %, se aplicará riego de sello con material 3-A ó 3-E.

## Mezcla en Planta con Dosificación por Volumen.

El método continuo de la mezcla, se basa en la marcha constante de los materiales pétreos y el asfalto, desde las tolvas y tanques de almacenamiento hasta los camiones, ya - efectuada la mezcla.

El material pétreo se mide volumétricamente al pasar por puertas calibradas situadas en la parte inferior de las tolvas, el asfalto se mide volumétricamente por una bomba medidora y los dos materiales se mezclan en una mezcladora de tipo continuo, cuyas paletas hacen avanzar la mezcla durante todo el proceso, obteniéndose así una descarga continua.

Generalmente se coloca una tolva en el extremo de la mezcladora, de forma que la compuerta que controla la descarga, puede estar cerrada durante periodos cortos de tiempo, mientras se cambian los camiones, sin necesidad de parar la corriente de los materiales.

La adición del polvo se hace de la misma manera, que los otros materiales, añadiéndolo continuamente a la mezcladora por medio de un alimentador calibrado.

Todas las corrientes de los materiales, pétreos y asfálticos y polvo están sincronizadas mecánicamente, de manera que una vez que la instalación está debidamente ajustada, - las proporciones permanecen constantes sin intervención del operador. Una vez puesto en marcha este sistema, toda la operación es mecánica, eliminándose el factor error humano.

Las proporciones de mezcla en las plantas continuas, se determinan de antemano de acuerdo con los tipos de mallas - empleados y con la granulometría de los materiales, de igual modo se hace en las plantas intermitentes.

Como la dosificación de los agregados se hace por volumen, no resulta una mezcla de alta calidad a no ser que su control sea extremadamente, riguroso. Debido a la incertidumbre en la dosificación, estas mezclas resultan casi iguales a las elaboradas en el camino con mezcladoras ambulantes, - por lo que su uso no se ha generalizado.

El orden de operación de una carpeta asfáltica, ejecutada por el sistema de planta central, con dosificación por volumen es, esencialmente el mismo que el utilizado en la colocación del concreto asfáltico.

## Carpeta de Concreto Asfáltico

Cuando el tránsito sea intenso y pesado, la carpeta asfáltica se elaborará con cemento asfáltico y agregado pétreo, llamándosele de concreto asfáltico, apegándose a las siguientes especificaciones:

### 1) Cemento Asfáltico N° 6

a) Penetración, a 25°C 100 g. 5 seg.	85 a 100
b) Viscosidad (Saybolt Furol), seg.	85 mín
c) Punto de inflamación (Cleveland), °C	232 mín
d) Pérdida por calentamiento en película delgada, %	1.0 máx
e) Penetración después prueba, a 25°C 100 g, 5 seg., % del original.	50 mín
f) Ductilidad: a 25°C, cm.	100 mín
g) Solubilidad en tetracloruro de carbono, %	99 mín
h) Punto de reblandecimiento, °C	45 a 52

### 2) Agregado Pétreo

a) Tamaño máximo	3/4"
b) Clase material	Triturado basáltico

c) Peso específico	2.69 mín
d) Absorción ( B seca), %	3.00 máx
e) Equivalente de arena, %	60 mín
f) Desgaste deval, %	20 máx
g) Intemperismo acelerado, %	12 máx
h) Afinidad con el asfalto (despredimien to), %	25 máx

i) Granulometría:

<u>MALLA</u>	<u>% PASA</u>
(3/4")	100
(1/2")	100-75
(3/8")	100-65
(N°4)	70-47
(N°10)	48-32
(N°20)	33-22
(N°40)	25-16
(N°60)	20-12
(N°100)	15-9
(N°200)	10-5

3) Mezcla Elaborada.

a) Estabilidad (marshall-50 golpes por lado) (kg)	450 mín
b) Fluencia (mm)	4 máx

c) Vacíos en mezcla (%)	3 a 5
d) Vacíos llenos de asfalto (%)	75 a 85
e) Contenido de asfalto (%)	6 a 7
f) Densidad teórica máxima (kg/m <sup>3</sup> )	2,500
d) Densidad media en campo al terminar la compactación (kg/m <sup>3</sup> )	2,250 mín
h) Temperatura de elaboración (°C)	135 a 150
i) Temperatura de tendido (°C)	100 a 130
j) Temperatura de compactación (°C)	90 mín
k) Índice de permeabilidad (%)	10 máx.

Para la construcción de carpetas de concreto asfáltico se tomará en cuenta lo siguiente:

- a) Base impregnada y bien terminada deberá ser barrida.
- b) Se aplicará un riego de liga a razón de 0.3 a 0.5 - lts/m<sup>2</sup>. utilizando asfaltos rebajados de rompimiento rápido.
- c) En el mezclado se utilizará una planta estacionaria que debe tener dosificador en frío, secador de inclinación ajustable y termómetro con pirógrafo, recolector de polvo, clasificador para tres tamaños como mínimo, tolvas para los materiales clasificados, dosifi

cador del material pétreo, equipo para calentar el cemento asfáltico y termómetro para el mismo, dosificador del asfalto, mezcladora y tolva para incorporar finos.

- d) El material pétreo se seca y se calienta de 120°C a 160°C.
- e) La mezcla debe salir de la planta a una temperatura de 120°C a 150°C.
- f) El transporte del concreto asfáltico se debe efectuar en vehículos de caja metálica, debiendo tener lona por cubrir la mezcla. Antes de cada carga se limpiará la caja de los vehículos pero no se usará Diesel para esto.
- g) El tendido se efectuará con máquina especial de tendido (esparcidora) con propulsión propia y dispositivos para ajustar el espesor y el ancho de la capa, así como para asegurar la distribución uniforme de la mezcla. La máquina deberá tener un calefactor en la zona de acabado superficial.
- h) Para obtener los espesores de material compacto de proyecto deberán controlarse los espesores que va dejando la terminadora según la siguiente relación.

Espesor proyecto  
por terminadora

X 1.3 (Abundamiento) = Espesor tendido

- i) El tendido deberá efectuarse con la rapidez necesaria para que la mezcla se inicie a compactar a una temperatura de 110°C. Cuando se construya la carpeta en -



dos o más franjas, en el caso de que exista un desfase mayor a un día, la junta deberá lograrse con cemento asfáltico o con asfalto rebajado. Las juntas transversales deberán recortarse a 45° y también se ligarán como antes se dijo.

- j) El planchado se iniciará con una plancha tipo tandem, a media rueda y se continuará con equipo neumático - hasta alcanzar 95 %. Finalmente se usará rodillo liso de 12 ton. para borrar las huellas de los equipos anteriores. La compactación se efectuará en sentido longitudinal, de las partes bajas a las partes altas.
- k) En las orillas de la carpeta se formará un chaflán de 1 X 1.5
- l) No se tenderá carpeta sobre una base húmeda o cuando esté lloviendo, ni tampoco cuando la temperatura sea inferior a 5°C.
- m) Se aplicará riego de sello cuando la carpeta tenga más de 10 % de permeabilidad, o bien, cuando por su rigidez pueden presentarse grietas.
- n) La carpeta terminada deberá tener la sección y pendiente de proyecto y en ningún punto se aceptarán depresiones o crestas mayores de 5 mm. medidas con una regla - de 3 m. normal y paralela al eje de la vía.

### Riego de Impregnación

El riego de impregnación tiene por objeto aplicar un asfalto rebajado a la base terminada, para impermeabilizarla y formar una transición entre ella y las mezclas asfálticas.

Normalmente se aplica a las bases hidráulicas antes del tendido de la carpeta asfáltica, pero también cuando el diseño indique que la base asfáltica se construya sobre la sub-base, se aplica en esta capa.

Una vez recibida la base (o sub-base) e inmediatamente - antes del riego, deberá barrerse perfectamente, dejándola libre de impurezas y material suelto, posteriormente se aplicará un riego de producto asfáltico FM-0 ó FM-1 o emulsión asfáltica mediante petrolizadora, debiendo tener un dispositivo adecuado que permita aplicar el riego en la cantidad especificada de 1.5 litros/m<sup>2</sup>, se distribuirá al producto asfáltico uniformemente y a presión mayor de 1.5 kg/cm<sup>2</sup> y una temperatura de 90°C, debiendo reposar cuando menos 2 días, con objeto de que se logre una penetración aceptable (5 mm. mínimo) y que el asfalto haya perdido la totalidad de los solventes.

Cuando por causas de fuerza mayor deba transitarse por el tramo recién impregnado, se colocará arena seca a razón de 6 a 8 litros/m<sup>2</sup> con objeto de protegerlo.

## Riegos de Sello

Deben recibir un riego de sello, para impermeabilizar o para utilizar su superficie reseca y desgranada, las carpetas asfálticas de mezcla en el lugar y las de concreto asfáltico.

### A) Riego de Sello por Tratamiento Superficial.

Consiste en aplicar asfalto FR (2 ó 3) o emulsión asfáltica y cuando se requiere aditivo deberá emplearse. La cantidad de asfalto FR, varía de 1 a 2  $\text{lt}/\text{m}^2$ , y se aplica en caliente. La emulsión asfáltica se aplica en frío. Se cubre con agregado N° 3A ó 3E mencionados antes. El defecto de este riego de sello es la gran cantidad de agregado que no se liga con el asfalto, provocando mucho polvo y el rompimiento de parabrisas de vehículos durante mucho tiempo.

Para más detalles del proceso de construcción se puede decir que es similar al de carpeta de un riego, ya antes mencionado.

### B) Riego de Sello por Mortero Asfáltico (Slurry Seal)

Los riegos de sello con mortero asfáltico son muy adecuados para pavimentos de calles y aeropuertos, y consisten en mezclar un agregado (arena), emulsión asfáltica, cemento Portland o cal y agua, haciendo un lodo asfáltico, el cual se coloca en frío sobre las carpetas.

El cemento y la cal pueden no ser necesarios, dependiendo de los finos del agregado. En las emulsiones asfálticas, al evaporarse el agua agregada y la de la emulsión,

el agregado queda cementado juntamente con el asfalto, produciendo una delgada capa sellante sobre la carpeta asfáltica. Hoy se producen emulsiones asfálticas de tipo aniónico o catiónico (fraguado normal y rápido) muy estables, que permiten hacer un tendido continuo usando máquinas dosificadoras y mezcladoras montadas sobre un chasis de camión, que producen muchos metros cuadrados de sello por hora.

Los sellos de mortero asfáltico varían de acuerdo a la condición del pavimento (viejo o nuevo), o de la base en donde también pueden aplicarse como carpeta simple, todo en función de la textura y agrietamiento correspondiente. El tipo y volumen de tránsito influyen en el tipo de mortero asfáltico y también las condiciones climáticas del lugar.

Las especificaciones de granulometría se muestran en la tabla siguiente:

<u>Malla</u>	<u>Superficie fina</u> <u>% Pasando</u>	<u>Superficie general</u> <u>% Pasando</u>
3/8"	100	100
Núm. 4	100	85-100
Núm. 8	100	65-100
Núm. 16	65-90	45-70
Núm. 30	40-60	30-50
Núm. 50	25-42	18-30
Núm. 100	15-30	10-21
Núm. 200	10-20	5-15
Espesor de la capa	3 mm <u>+</u>	7 mm <u>+</u>
% Contracción lineal	2 máx	
Equivalente de arena	40 mín	

El sello de mortero asfáltico superficie general es el más usado para aplicarlo a carpetas nuevas. El otro superficie fina, es adecuado para carpetas agrietadas, en las cuales penetra mejor.

En los trabajos de mortero asfáltico se tomará en cuenta lo siguiente:

- a) Debe barrerse la superficie en que se aplicará el mortero.
- b) Las cantidades aproximadas de emulsión son 18 % ó 25 %, respecto al peso del material pétreo y las cantidades de agua 10 % a 15 %, respecto al peso del material pétreo.
- c) La mezcla después de tendida debe estabilizarse en un periodo de 1 a 5 horas.
- d) El mortero asfáltico debe elaborarse en planta móvil que debe tener tolva para el pétreo, tanque para emulsión, tanque para agua, y dispositivos de dosificación y mezclado para producción y tendido continuo. Debe tener también un aplicador para humedecer la superficie por tratar.
- e) Las depresiones que existan deben rellenarse.
- f) Se humedece la superficie en que se vaya a colocar el mortero.
- g) Se extiende el mortero con el espesor de proyecto (de 3 mm. a 1 cm., aproximadamente).

## Riego de Liga

El riego de liga tiene por objeto unir perfectamente la base con la mezcla asfáltica mediante la aplicación de un re bajado asfáltico en la superficie.

Normalmente se aplica a las bases o sub-bases impregna- das antes del tendido de base negra o carpeta asfáltica, de- pendiendo del diseño del pavimento, pero también se aplica - entre base asfáltica y carpeta asfáltica cuando el tendido - entre una y otra capa es mayor de 36 hrs. o entre pavimento existente (carpeta asfáltica o concreto hidráulico) y carpe- ta asfáltica cuando se trata de una sobre carpeta.

La superficie de la base o sub-base impregnada, de la ba se asfáltica o del pavimento existente, deberá estar seca y sin materias extrañas o sueltas, deberá barrerse perfectamen- te para después aplicarse el riego de liga con producto asfál- tico FR-3 (indicado anteriormente), a razón de  $0.5 \text{ lt/m}^2$  - aproximadamente y a la temperatura de  $90^\circ\text{C}$ , dejándose reposar 2 horas cuando menos para que pierda parte de sus solventes.

No es conveniente que este riego esté expuesto más de 10 horas sin tender la mezcla asfáltica, ya que puede adquirir impurezas, tales como polvo, agua o materias extrañas. Si por causas de fuerza mayor, dicho lapso de exposición del riego fuese mayor se repetirá la aplicación con bachador a razón de  $0.2 \text{ lt/m}^2$ .

## Bacheo

El bacheo es la reposición parcial o total de la estructura y superficie del pavimento, cuando se presenten zonas - de falla, caracterizadas por una depresión, agujero o rotura de su superficie. Los aspectos más importantes para efectuar correctamente los trabajos de bacheo son los siguientes:

### A) Localización

Es importante localizar las zonas donde existen fallas - del pavimento para repararlas y también saber la causa que las originó, para que dichas reparaciones se realicen correctamente, impidiendo que vuelvan a presentarse.

Los casos más comunes de falla, así como sus causas, son las siguientes:

- 1.- Desintegraciones de la carpeta (Escasez de asfalto o sobrecalentado de la mezcla o derrame de solvente por los autotransportes).
- 2.- Agrietamiento "Piel de Cocodrilo" (Falla de soporte por saturación en sub-rasantes, sub-bases, bases y terracerías, etc).
- 3.- Deslizamientos (Defectos de liga).
- 4.- Ondulaciones o arriñonamientos (Inestabilidad por exceso de asfalto o solventes en la mezcla).
- 5.- Cortes (necesarios por fugas, conexiones, nuevas instalaciones o reposición de las existentes).

B) Marcar las áreas de bacheo.

Marcar si es posible (cordón y cal) las áreas donde deben efectuarse los cortes, abarcando 25 cm. afuera de la zona afectada (este requisito puede modificarse de acuerdo con las condiciones que presente la carpeta existente).

C) Cuantificación de materiales.

De acuerdo con la experiencia tener disponible en cantidades suficientes los materiales a reponer tanto de terracería como de sub-bases y carpetas y el equipo necesario de construcción para mantener el menor tiempo posible la excavación expuesta.

Las zonas deben tener forma rectangular o cuadrada, con dos de sus lados perpendiculares al eje de la vía como se ve en la FIGURA N° 2.

D) Cortes.

Una vez marcada la zona de bache, se harán los cortes en la carpeta, de preferencia con sierra, con objeto de abrir caja y extraer el material fallado, hasta donde se encuentre capa firme. Las paredes en la caja deben ser verticales como lo muestra la FIGURA N° 3.

E) Limpieza y preparación.

Una vez efectuada la excavación y extraído el material fallado, debe limpiarse perfectamente la caja y prepararse en la forma siguiente:



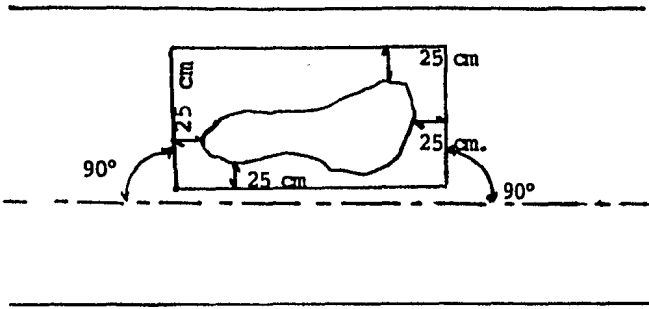


FIGURA N°2. MARCAS PARA EL AREA DE BACHEO

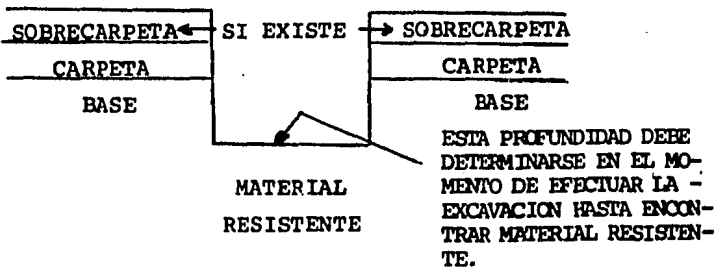


FIGURA N°3. CORTES EN CARPETA PARA ABRIR  
CAJA Y EXTRAER EL MATERIAL  
FALLADO

- 1.- Si la excavación en la caja es profunda habra necesidad de colocar grava cementada controlada (hasta el nivel inferior de la carpeta (s) existente (s) en capas de 10 cm. de material compacto con una humedad cercana a la óptima y compactada a un grado mínimo - del 95 % de su Peso Volumétrico máximo.
- 2.- Cuando la excavación llegue a base hidráulica, debe darse una afinada con el compactador a la superficie.
- 3.- Si esta excavación llega a carpeta asfáltica debe - darse piquete de amarre a razón de 20 a 25 por  $m^2$ . y a una profundidad de 2 cm. aproximadamente y después barrer perfectamente.

#### F) Riegos asfálticos.

- 1.- Sobre base hidráulica; Riego de Penetración con asfalto FR-3 a razón de  $1.0 \text{ lt}/m^2$ .
- 2.- Sobre carpeta asfáltica; Riego de Liga con asfalto - FR-3 a razón de  $0.5 \text{ lt}/m^2$ .
- 3.- Las paredes verticales que rodean la superficie del bache, deben recibir un riego ligero de liga con asfalto FR-3.

#### G) Mezclas de bacheo.

La mezcla asfáltica que normalmente se emplea para los trabajos de bacheo en la ciudad, se elabora en la planta de asfalto del D. D. F. con asfalto P.A-5 y agregados pétreo con tamaño máximo de  $3/4"$  y  $1/2"$ . Por tratarse de una mezcla cuyo aglutinante contiene solvente y con objeto de evitar fallas prematuras tales como: ines-

tabilidad, deslizamiento o disgregación será necesario - tomar las siguientes precauciones:

- 1.- Temperatura de tendido; mayor de 70°C.
- 2.- Temperatura de compactado; 70° a 50°C.
- 3.- Apertura al tránsito; después de que se halla eliminado gran parte de los solventes de la mezcla (normalmente serán 3 horas después de compactada la mezcla). En zonas de tránsito intenso y con objeto de acelerar la apertura al mismo, es conveniente emplear mezclas asfálticas elaboradas con cemento asfáltico N° 6.

#### H) Colocación de la mezcla de bacheo.

Después de que la caja de bacheo ha sido debidamente preparada, incluyendo riegos de penetración o liga, se colocará la mezcla de bacheo, impidiendo la segregación del material, las paladas de la mezcla deberán aplicarse de las orillas hacia el centro, la cantidad de mezcla asfáltica será suficiente para asegurarse que después de compactada, quede a nivel del pavimento adyacente (ni arriba, ni abajo).

Cuando los espesores de bacheo son superiores a los 5 cm. deberá aplicarse la mezcla en dos capas, procurando que una vez compactada la primera y antes de tender la segunda se dé un pequeño piquete de amarre (sin riego de liga) para facilitar la homogeneidad de la mezcla colocada.

#### I.- Compactación de la mezcla.

De preferencia debe usarse compactador vibratorio, la compactación debe efectuarse de las orillas hacia el centro y de la parte baja hacia la parte alta traslapándose entre una y otra pasada cuando menos 15 cm. Una vez compactada la mezcla (sin dejar huella de las ruedas) debe quedar al nivel del pavimento adyacente.

## Reconstrucción de Pavimentos (Sobre carpeta)

Cuando los pavimentos existentes (asfálticas o de concreto hidráulico) presentan deterioros cuya conservación es in-costeable e inapropiada con trabajos de bacheo o tratamientos superficiales, deberá hacerse la reconstrucción por medio de sobre carpetas asfálticas.

Ejecución.

### A) Preparación.

Antes de proceder al tendido de la sobre carpeta asfáltica, deberá prepararse perfectamente el pavimento existente, con objeto de evitar fallas prematuras o que se reflejen las existentes.

La preparación se hará en la forma siguiente:

- 1.- Se deberán efectuar los trabajos de bacheo necesario en zonas que presentan: desintegraciones, grietas, - "Piel de cocodrilo", deslizamientos, ondulaciones, - arriñonamientos, etc.
- 2.- Las zonas que presenten agrietamientos sin asentamientos, se trataran como se indica a continuación:
  - a). Grietas pequeñas.- Se rellenarán con Asfaltos FR-1 ó FR-2 calentado a 70°C, para facilitar su escurrimiento.
  - b). Grietas regulares.- Se pueden rellenar con los mismos asfaltos las anteriores, espolvoreándose con arena seca a polvo de trituración o con mortero.

ro asfáltico, auxiliándose de una escoba o un ras  
trillo con hule en el extremo para procurar que  
se rellene la grieta en toda su profundidad y se  
enrase. Una proporción aproximada para la elabo-  
ración del mortero asfáltico puede ser:

Arena o polvo de trituración	45 kg.
(cribados por la malla 8)	
Emulsión asfáltica de fraguado lento	8 a 14 lts.
Agua	4 a 5 lts.

Este mortero puede elaborarse en forma manual (a  
pala) pero de preferencia con revolvedora de con  
creto (trompo).

3.- Se deberán hacer las renivelaciones siguientes:

- a) En zonas que presenten asentamientos mayores  
de 5 cm. deberán hacerse nivelaciones con con  
creto asfáltico por medio de motoconformado-  
ra y compactarse al 90 % de su Densidad Teóri  
ca máxima con rodillos lisos.
- b) Cuando existan: brocales, cajas de agua, cola  
deras de piso, tapas de registro, etc. debe-  
rán hacerse las renivelaciones perfectamente,  
fijando los elementos de tal forma que resis-  
tan los impactos, quedando con los niveles y  
pendientes de proyecto de la sobre carpeta. -  
Esto último deberá verificarse al término de  
la obra.

Una vez renivelados los elementos mencionados  
se colocará un chaflán de concreto asfáltico

a su alrededor debidamente compactado, para evitar que durante el tendido se muevan.

4.- Cunetas o Descarnes.- Con objeto de conservar la luz existente en las guarniciones y no se tenga la posibilidad de renivelarlas o reconstruirlas cada vez - que se ejecuten trabajos de reconstrucción deberán hacerse los descarnes o cunetas en la forma siguiente.

a) Se eliminará la carpeta existente en una zona adyacente a la guarnición (cuneta hacia la - que se tenga el escurrimiento del agua), como se indica en la FIGURA N°4.

b) Una vez eliminada la carpeta en la zona de - descarne previa limpieza y riegos de liga se rellenará una cuña de concreto asfáltico debidamente compactada en la forma de la FIGURA - N°5.

5.- Las preparaciones en pavimentos de concreto hidráulico para recibir sobre-carpetas en términos generales son las siguientes:

a) Las zonas de losas agrietadas en esquina que tengan movimientos, se eliminarán y se subsistirán con concreto asfáltico (bacheo).

b) Las zonas de juntas defectuosas y agrietamientos sin movimiento de losas se sellarán con asfalto FR-3 o concreto asfáltico N°6 ó 8, dependiendo de la abertura de las mismas.

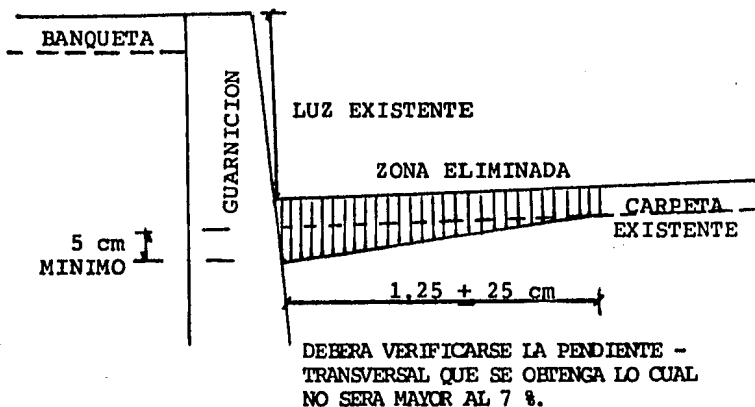


FIGURA N°4. CUNETAS O DESCARNES

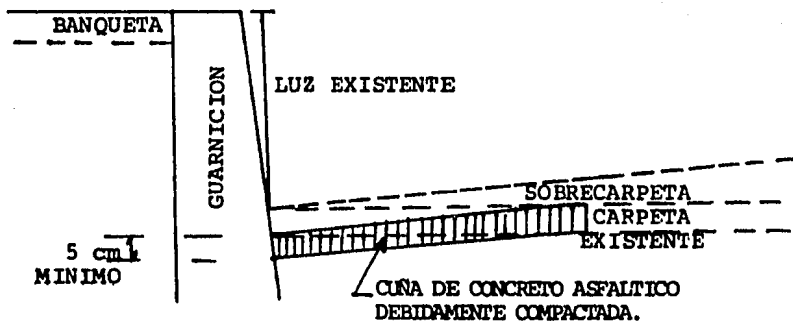


FIGURA N°5. RELLENO Y COMPACTADO DE CONCRETO ASFALTICO



c) Para pavimentos de concreto hidráulico fallados con losas muy agrietados y con movimientos fuertes, deberán efectuarse estudios de laboratorio, para indicar en cada caso el procedimiento a seguir y la costeabilidad del mismo, ya que pueden hacerse estabilizaciones de las losas por medio de inyecciones de concreto u otros sistemas.

6.- Piquete de amarre.- Se deberá efectuar un piquete de amarre no muy profundo, de 2 cm. aproximadamente a razón de 20 a 25 por  $m^2$ , con objeto de evitar deslizamientos.

#### B) Barrido y Riego de Liga.

Después de preparar el pavimento existente en la forma indicada, se deberá barrer perfectamente la superficie de rodamiento dejándola libre de polvo e impurezas y se procederá a efectuar el riego de liga a razón de 0.5 lt/ $m^2$ .

Sin embargo se hace incapie en la importancia de llevar a cabo correctamente estos dos últimos aspectos, para obtener una liga adecuada entre la superficie existente y la sobrecarpeta evitando deslizamientos y ondulaciones - sobre todo en las vías que presentan pendientes mayores del 5 %.

C.- Tendido de la mezcla

D.- Compactación

E.- Sello con cemento portland

F.- Materiales

Los incisos C, D, E y F, están vistos en la construcción de carpetas asfálticas elaboradas con concreto asfáltico de este mismo capítulo.

Una renovación superficial que está usándose en algunos lugares de nuestro país, consiste en usar un equipo que calienta superficialmente la carpeta asfáltica, unos 2 cm. la escarifica y vuelve a mezclar, usando un aditivo asfáltico especial, que deja la mezcla en condiciones de volver a tender y compactarse.

## Pavimentos de Concreto Hidráulico

Los pavimentos rígidos son aquellos cuya capa de rodamiento está constituida por losas de concreto hidráulico, apoyadas sobre una base de tipo granular.

El elemento fundamental del pavimento lo constituyen las losas de concreto hidráulico, las cuales tienen como finalidad proporcionar al tránsito una capa rígida, estable, resistente al desgaste e intemperismo, prácticamente impermeable, de superficie uniforme y de textura adecuada al rodamiento.

En resumen existen dos tipos de pavimentos de concreto hidráulico, reforzado y sin refuerzo en este capítulo únicamente se hará referencia al último.

Un concreto de losa para pavimento cumple con la resistencia cuando:

- 1) El promedio de la resistencia a la compresión de cada 5 especímenes consecutivos debe ser mayor que la  $f'_c$  de proyecto, a los 28 días de edad.
- 2) En cada grupo de 5 especímenes 4 deben haber acusado resistencia a la tensión por flexión, mayor a 0.9  $f'_t$ .

Para comprobar la resistencia del concreto se deberá tomar una muestra de volumen suficiente para hacer cuatro cilindros estándar, por cada 20 m<sup>3</sup> de concreto. Dos cilindros como mínimo deberán ser ensayados a los 28 días de edad o antes si se especifica otra edad, y el promedio de las resistencias obtenidas constituye una prueba de resistencia. Si alguno de los resultados de los cilindros acusa una deficiencia definitiva de muestreo, elaboración, manejo, curado o ensayo, no se

deberá tomar en cuenta para promediar.

El revenimiento se determinará en una muestra tomada después del primer cuarto de  $m^3$  y antes del último cuarto de  $m^3$  de volumen descargado. Si el revenimiento caé fuera de los límites especificados, debe hacerse otra prueba con otra porción de la muestra o de otra muestra de la misma entrega. En el caso de una segunda falla, debe considerarse que el concreto no ha cumplido con los requisitos los de esta especificación. Para un concreto de resistencia a la compresión de  $300 \text{ kg/cm}^2$ , el revenimiento será de 6 cm con una tolerancia de más o menos 2.5 cm. Durante 15 minutos después de la carga, el concreto conservará el revenimiento anterior.

La subrasante deberá construirse de acuerdo con el alineamiento, pendientes y secciones transversales de los planos - aprobados de proyecto. El grado de compactación será de 95 - mín. del PVS máx. Si la terracería es de corte en roca, la subrasante se formará con suelos adecuados transportados a ese lugar.

Conviene que el pavimento de concreto se apoye sobre una capa de rigidez menor que el concreto, pero mayor que la correspondiente a la subrasante. Cuando se necesite sub-base - en estos pavimentos, es muy ventajoso usar las de suelo-cemento. El grado de compactación obtenido será de 95 % mín - del PVS máx.

Una vez aprobada la sub-base de compactación, se curará la superficie con riegos de agua durante 4 días como mínimo. Al terminar un tramo, se deberá construir una junta transversal de construcción, cortando verticalmente toda la capa.

Si se prefiere usar una subbase de suelo granular, la especificación de la calidad es la misma que la presentada en pavimentos flexibles para base, al 98 % de su FVS máx. en grado de compactación.

Uno de los aspectos básicos en la construcción de los pavimentos rígidos es la elaboración del concreto, la cual se hará de preferencia en planta premezcladora, también podrá ser hecha en mezcladores estacionarios, en camiones mezcladores o agitadores.

El transporte del concreto incluye todo tipo de vehículos para el caso, incluyendo camiones de volteo, los cuales deberán tener caja metálica, estanca y fácil de vaciar.

El concreto se vaciará entre moldes metálicos e indeformables que no sufran variaciones en sus alineamientos y niveles fijados firmemente a la base. Antes del vaciado se engrasarán las superficies que entrarán en contacto con el concreto. Los moldes no se aflojarán ni se removerán antes de que el concreto haya endurecido lo suficiente, para soportar sin deterioro la maniobra respectiva, siendo este lapso de 24 horas como mínimo.

Las juntas en los pavimentos de concreto tienen por objeto controlar el agrietamiento debido a los esfuerzos de compresión por dilatación, tensión o flexión en las losas.

Las juntas constituyen puntos débiles para producir fallas en los pavimentos ya que de no ser éstas impermeables puede penetrar el agua a la base y subrasante originando socavación y reducción del soporte. Debido a lo anterior, la construcción de las juntas debe hacerse con demasiada precaución.

Según la posición que tengan las juntas con respecto al eje de la vía pueden ser longitudinales (paralelas al eje) y transversales (perpendiculares al eje).

Las juntas pueden ser de los siguientes tipos:

- a) Juntas transversales de dilatación: Estas juntas permiten que el pavimento pueda moverse al dilatarse las losas. La separación entre éstas juntas deberá ser a cada 48 metros, sin embargo, éstas juntas pueden eliminarse siempre que se reúnan las siguientes condiciones: Que los materiales empleados en el contrato no tengan propiedades expansivas, que la construcción de pavimento se realice en épocas del año con temperaturas templadas y que la separación de las juntas de contracción sea suficiente para prevenir grietas intermedias. Las juntas consistirán de varillas pasajuntas lisas para transmitir la carga de una losa a otra, en uno de los extremos se colocará el casquillo de expansión. Las dimensiones de las pasajuntas son de 50 a 60 centímetros de longitud, una pulgada de diámetro y separadas de 30 a 45 centímetros. La junta deberá sellarse con un material compresible e impermeable para evitar que penetren sustancias extrañas y a la vez absorber los movimientos de las losas FIGURA N°6.
  
- b) Juntas transversales de contracción: Tiene por objeto controlar los esfuerzos originados por la contracción de las losas, también permiten cierto movimiento angular con lo cual ayuda a disminuir los efectos originados por el alabeo. Las juntas de contracción consisten en formar ranuras cuya profundidad sea de una tercera parte del espesor de la losa, las cuales se harán por medio de cortadoras especiales de abrasivo o diamante

industrial con un ancho de 6 a 3 milímetros.

Las juntas irán espaciadas de 5 a 6 metros y el tiempo que debe transcurrir entre el colado y el corte se rá de 48 a 72 horas. Las ranuras se limpiarán perfectamente y se rellenarán con un material elástico resistente al efecto de los solventes y al calor de los motores y al intemperismo. Debe ser adherente a las paredes y permitir dilataciones y contracciones sin agrietarse. Este material llenará las dos terceras partes de la ranura, FIGURA N°7.

c) Juntas de construcción:

Estas pueden ser de dos tipos:

- 1) Longitudinales: Dependiendo del número de carriles de circulación, el pavimento se dividirá longitudinalmente en fajas de ancho variable entre 2.5 y 3.5 metros de acuerdo con el proyecto, entre estas fajas existirán juntas longitudinales de construcción machihembrada.
- 2) Transversales: El vaciado longitudinal se hará en forma continua haciendo una junta transversal plana o machihembrada, al terminar el trabajo diario o por interrupción imprevista. Estas juntas irán espaciadas a una distancia múltiple de 6 metros a partir del punto de iniciación de vaciado que debe ser la junta transversal de construcción anterior.

Las juntas planas o machihembradas se formarán como se indica en la FIGURA N°8.

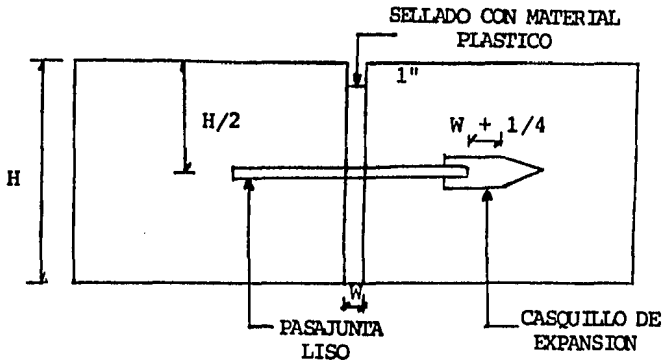


FIGURA N°6. JUNTAS TRANSVERSALES DE DILATACION

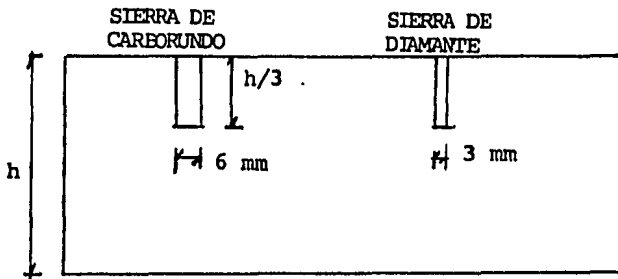
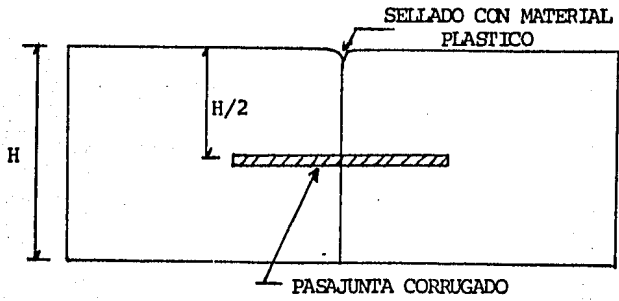


FIGURA N°7. JUNTAS TRANSVERSALES DE CONTRACCION



JUNTA PLANA



JUNTA MACHIHEMBADA

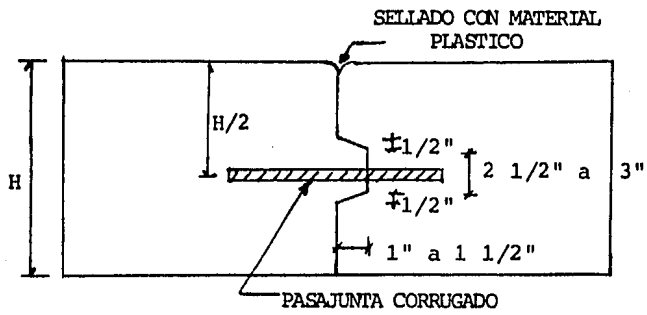


FIGURA N°8. JUNTAS DE CONSTRUCCION

Al retirar los moldes y en cuanto la superficie se encuentre lo suficientemente seca, se procederá a pintarla con cemento asfáltico N°6 u 8, hasta lograr un espesor uniforme de 3 mm. antes de proceder al vaciado de la losa contigua.

Las dimensiones de las pasajuntas serán de 50 cm. de longitud y 19 m (3/4") de diámetro espaciadas a cada 60 cm., su nivel corresponderá a la mitad del espesor de la losa.

Antes de iniciar la colocación del concreto, se deberá humedecer la superficie de la base hasta saturarla, pero sin que se formen charcos.

Será conveniente que la revolvedora o el camión vierta directamente sobre el punto de colocación del concreto para prevenir su segregación. La altura de caída del concreto no deberá ser mayor de 50 cm. y en el momento de colocarse tendrá la consistencia especificada por el revenimiento de proyecto.

La revoltura se distribuirá uniformemente sobre la superficie preparada y se compactará mediante vibrador de inmersión, o una regla vibratoria junto a las cimbras. En ningún caso el vibrador deberá operarse más de 15 seg. en ningún lugar. Hasta lograr una compactación uniforme y la eliminación de huecos.

Una vez conformada la superficie mediante el vibrado superficial, se aplanan con llana de madera de mango largo, después se afina con banda de lona y hule de aproximadamente 20 cm. de ancho, colocada perpendicularmente al eje de la vía, con objeto de eliminar prominencias y depresiones, hasta dejarla uniforme pero con textura ligeramente áspera. No se permitirán crestas ni depresiones mayores de 4 mm. medidas con una regla paralela al eje de la vía.

También puede darse al pavimento un acabado con ranuras longitudinales con objeto de lograr una superficie antiderrapante.

Las aristas de las juntas se redondearán a un radio aproximado de 4 mm. para lo cual se emplea un volteador que se pasa sobre el concreto fresco inmediatamente después de terminado el afinado de la superficie.

Las juntas y grietas del pavimento de concreto se deben sellar tan pronto como sea posible, antes de abrirse el pavimento al tránsito. La junta debe limpiarse perfectamente, - sin dejar nada de polvo o partículas incompresibles.

El material para sellar la junta deberá ser previamente aprobado. Se podrá colocar en forma líquida sobre la junta, volviéndose plástico posteriormente. Se puede usar un cemento asfáltico N°6, una emulsión asfáltica viscosa o algún producto de fraguado térmico y curado químico, como el alquitrán de hulla con polisulfuros o poliuretanos. El espesor de sello no deberá ser inferior a 13 mm. y deberá estar 5 mm. debajo de la superficie del pavimento.

El curado de concreto para pavimento tiene por objeto - conservar el agua de mezclado del concreto para que este frague y endurezca en condiciones satisfactorias y debe dársele especial atención por tratarse de un factor de gran importancia para la resistencia y durabilidad del concreto.

Inmediatamente después de terminarse la superficie del - pavimento, se procederá a cubrirla con una membrana impermeable de algún producto aprobado por el laboratorio, que se aplicará finamente atomizado y que mantendrá la humedad por

un tiempo mínimo de 24 horas, al cabo de los cuales se podrá seguir usando esta membrana manteniéndola en buenas condiciones o alguno de los siguientes procedimientos durante los 7 días posteriores al colado.

- a) Riego de agua. Para conservar constante y eficientemente húmeda toda la superficie.
- b) Lámina de agua. Con un tirante de 5 cm. retenida con bordos de arcilla.
- c) Arena húmeda. Con un espesor de 5 cm. manteniéndola constantemente humedecida.

El pavimento de concreto deberá protegerse al tránsito de vehículos o personas por un tiempo mínimo de 7 días si se emplea cemento de resistencia rápida y 14 días con cemento de resistencia normal, salvo previa autorización en cruceros importantes.

## C A P I T U L O   V

### PRUEBAS DE LABORATORIO

#### Pruebas en Asfaltos

Los asfaltos deben ser sometidos a pruebas de laboratorio con el fin de conocer sus características y ver si se encuentran dentro de las especificaciones marcadas por la fuente de producción.

#### A) Densidad o Peso Específico Relativo

El método de prueba que se describe sirve para la determinación de la densidad o peso específico relativo de los cementos asfálticos. Este dato se utiliza en el cálculo y corrección de volúmenes de éstos materiales a diferentes temperaturas y en la determinación de porcentajes de vacíos en mezclas asfálticas compactadas. En el laboratorio, la densidad de un asfalto se determina llenando una botella pequeña con agua y pesandola, después llenando la misma botella con asfalto a -25°C y pesandola. El peso neto del asfalto dividido por el peso neto del agua es la densidad del asfalto y se debe expresar como densidad o peso específico relativo a 25/25°C.

## B) Destilación

El objetivo de la prueba de destilación es la de determinar la cantidad de disolvente que contiene el producto asfáltico y conocer sus características en lo referente a volatilización. El procedimiento de prueba será el siguiente:

Se colocan en un matraz de destilación 100 gramos del asfalto que se desea ensayar y se anota dicho peso (Pa) calculando luego el volumen (Va) utilizando la densidad como se indicó en el inciso anterior. Se ajusta el termómetro en el matraz de destilación de modo que el bulbo de éste quede retirado del fondo del matraz unos 7 milímetros. Se hace circular agua fría por el condensador conectando la entrada del agua como se indica en la FIGURA N° 9.

Se elevará la temperatura del asfalto en el matraz y se continuará calentando gradualmente para que los solventes volátiles se desprendan, condensen y caigan en la probeta graduada. Se anotan los volúmenes destilados a las temperaturas de 190°, 225°, 260°, 315° y 360°C. Al alcanzar la temperatura de 360°C, se retira la fuente de calor y se desconectará el matraz de destilación del condensador e inmediatamente se vacía el residuo asfáltico en una cápsula metálica para efectuarle posteriormente la prueba de penetración.

Se calculan los porcentajes de destilado a las temperaturas ya indicadas dividiendo los volúmenes destilados a cada una de las temperaturas entre el volumen total destilado a 360°C y multiplicando por 100 el resultado.

Es necesario que al ejecutarse la prueba de destilación ella se efectúe con mucho cuidado ya que puede cometerse los siguientes errores.

- 1) Que el producto asfáltico haya perdido parte de sus - disolventes después de muestreado.
- 2) Que se pese el producto asfáltico estando este caliente. Se recomienda que el producto asfáltico este a una temperatura de 20 a 25°C al efectuar la prueba.
- 3) Que se pierda una parte de los volátiles por conexión mal hecha entre el condensador y el matraz de destilación o que el tapón del matraz en el cual va puesto - el termómetro no ajuste correctamente.
- 4) Que el agua que circula por el condensador este a una temperatura tal que no condense todos los volátiles. Dicha temperatura no debe ser mayor de 25°C.

En algunas ocasiones el producto asfáltico contiene agua y en tal caso debe seguirse el procedimiento siguiente.

Se colocan tres o cuatro perlas de vidrio o gravillas en el matraz de destilación para evitar la formación de una cantidad excesiva de espuma debido a la presencia de agua en el producto. La flama para calentar el producto asfáltico en el matraz se colocará directamente sobre éste sin colocar la ca mi sa de asbesto, cuando empieza a subir la espuma. Habiéndose evaporado el agua que contenga el producto, se coloca la camisa de asbesto y se continúa la destilación en la forma - que ya se ha indicado.

A los volúmenes de destilado obtenidos a las temperaturas indicadas se restará el volumen de agua recibida en la probe ta.

### C) Viscosidad Saybolt Furol

El objetivo de la prueba de viscosidad es el de determinar el grado de fluidez de un asfalto líquido a determinada temperatura. La prueba se ejecuta mediante un aparato denominado viscosímetro. En nuestro caso se usa un viscosímetro - Saybolt con orificios Furol la prueba se lleva a cabo de acuerdo a los siguientes pasos:

Se calienta el aceite del viscosímetro a una temperatura de 0.5°C mayor que la temperatura de prueba. Se colocarán en un vaso 150 gramos aproximadamente del producto asfáltico y se calentará en una parrilla hasta una temperatura de 1°C mayor que la de prueba, agitando durante el calentamiento hasta que la temperatura sea uniforme.

Se vacía el producto en el tubo de viscosímetro hasta un nivel de derrame, se tapa y se mantiene durante 15 minutos - hasta alcanzar la temperatura de prueba. Se abre el opturador y se empieza a contar el tiempo en segundos que tarda el producto en llenar el matraz de 60 cm<sup>3</sup> pasando a través del tubo Furol. Este tiempo expresará la viscosidad del producto a la temperatura de prueba. Las temperaturas a las cuales se determina la viscosidad de los asfaltos son las siguientes.

Las emulsiones	-----	a 25°C
Los FL <sub>0</sub> , FM <sub>0</sub> y FR <sub>0</sub>	-----	a 25°C
Los FL <sub>1</sub> , FM <sub>1</sub> y FR <sub>1</sub>	-----	a 50°C
Los FL <sub>2</sub> , FM <sub>2</sub> y FR <sub>2</sub>	-----	a 60°C
Los FL <sub>3</sub> , FM <sub>3</sub> y FR <sub>3</sub>	-----	a 60°C
Los FL <sub>4</sub> , FM <sub>4</sub> y FR <sub>4</sub>	-----	a 82°C

Quando se ejecuta ésta prueba de viscosidad es muy frecuente se cometan los errores siguientes.



- 1) Que no se mantenga la temperatura adecuada durante la prueba.
- 2) Que no se tome en forma adecuada el tiempo que tarda el asfalto en llenar el matraz de 60 cm<sup>3</sup>.
- 3) Que el orificio de descarga no este limpio perfectamente.

#### D) Penetración

La penetración es una medida de la consistencia de materiales asfálticos sólidos o semisólidos y se expresa como la profundidad en décimas de milímetro.

Si el asfalto que se va a ensayar es un cemento asfáltico, este se calienta hasta que pueda ser vaciado en la cápsula. Se deja enfriar el espécimen (cápsula con asfalto) hasta que adquiera la temperatura ambiente y luego se coloca en un baño de agua a una temperatura de 25°C manteniéndola así el tiempo necesario para que el producto asfáltico adquiera dicha temperatura.

Se coloca el espécimen bajo el aparato de penetración, - se pone la aguja estándar bajo condiciones específicas de peso de 100 gramos en contacto con la superficie del asfalto y se ajusta la carátula a 0, FIGURA N° 10.

Se deja caer libremente la aguja durante 5 segundos al - cabo de los cuales se medirá en la carátula la distancia penetrada. Se hacen unas cuatro penetraciones, teniendo cuidado de limpiar bien la aguja después de cada ensayo y se toma el promedio de dichas penetraciones como el valor correcto. Si una de las lecturas discrepa mucho se desecha para el cálculo de promedio.

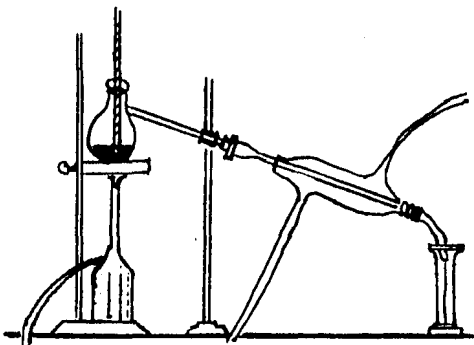


FIGURA N°9. PRUEBA DE DESTILACION

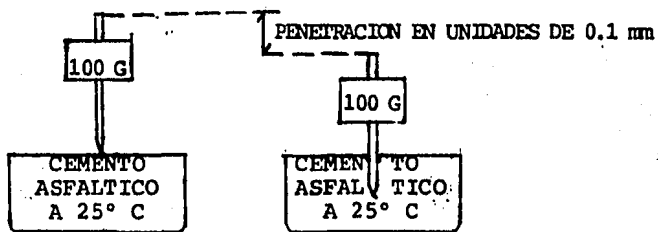


FIGURA N°10. PRUEBA DE PENETRACION NORMAL

La penetración se expresa en décimos de milímetro que se denominan grados de penetración. Durante la ejecución de esta prueba pueden ser causa de error:

- 1) El que haya quedado aire atrapado en la muestra cuando fue vaciada en la cápsula lo cual da penetraciones superiores a las reales.
- 2) Que la temperatura a la hora de la prueba no sea la - especificada.
- 3) Que la aguja no este con contacto con la superficie - del asfalto al ajustar la carátula del aparato.
- 4) Que el tiempo durante el cual este libre la aguja no haya sido el especificado.
- 5) Que no este limpia la aguja de penetración.
- 6) Que no este correcto el peso de la aguja y el vástago.
- 7) Que la aguja toque el fondo de la cápsula antes de finalizar el tiempo estipulado.

Es bueno hacer notar que la prueba de destilación combinada con la de penetración del residuo, clasifican fácilmente el tipo del producto asfáltico en observación, ya que si el residuo es muy suave que no permita la prueba de penetración, podrá clasificarse el producto como de fraguado lento. Sin embargo, si el residuo permite la prueba de penetración este puede clasificarse como un asfalto rebajado de fraguado medio o rápido y en tal caso si más de la mitad del destilado total pasa a una temperatura de 225°C, puede clasificarse el producto como asfalto rebajado de fraguado rápido mientras que si menos de la mitad del destilado pasa esta temperatura, debe-

r  clasificarse el producto como un asfalto rebajado de fraguado medio.

#### E) Punto de Inflamaci3n y de Ignici3n

Este m3todo sirve para la determinaci3n de las temperaturas de inflamaci3n y de ignici3n de los materiales asf3lticos (con excepci3n de los que tienen una temperatura de inflamaci3n en copa abierta inferior a 79°C). El punto de inflamaci3n indica la temperatura m3xima a la que el material asf3ltico puede ser calentado sin peligro de una inflamaci3n instantanea en presencia de una flama directa. Esta temperatura generalmente es inferior a la necesaria para que el material entre en combusti3n la cual corresponde al punto de ignici3n.

Al calentarse la muestra de asfalto en una copa abierta de Cleveland, registrese como punto de inflamaci3n la temperatura leida en el term3metro cuando al pasar la flama se produzca un chispaso en cualquier punto de la superficie del especimen, cuidando de no confundir el verdadero chispaso con un halo azulado que suele rodear la flama de prueba.

Para determinar el punto de ignici3n, continuese calentando el especimen de modo que su temperatura aumente a raz3n de 5 a 6°C por minuto. Continuese la aplicaci3n de la flama de prueba a intervalos de 2°C hasta que se produzca la combusti3n y se prolongue 3sta durante un tiempo no menor de 5 segundos. Anotese la temperatura alcanzada en este momento como punto de ignici3n.

#### F) Prueba de Flotaci3n en el Residuo

Esta prueba se ejecuta para conocer la consistencia de los asfaltos suaves a los cuales no se les puede hacer la prueba de penetraci3n.

Para la determinación de la prueba de flotación, la muestra de residuo asfáltico producto de la destilación de asfaltos rebajados de fraguado lento se calienta para vaciarla en el molde hasta un nivel ligeramente mayor que el nivel de enrase. La cara de menor diámetro del molde troncoconico deberá asentar sobre una placa de cobre previamente amalgamada para que no se pegue al asfalto.

Para amalgamar el molde se aplicará con un trapo una solución de tres partes de ácido clorhídrico o nítrico por una parte de mercurio, o mejor una pasta formada por glicerina y arcilla de china. Se deja enfriar a la temperatura ambiente durante media hora, después de la cual se sumergirá la placa y el molde en agua helada a una temperatura de 5°C durante 5 minutos se saca del agua y se enraza el molde eliminando el material sobrante con una espátula ligeramente caliente y se vuelve a colocar en agua a 5°C durante media hora.

Se remueve el molde de la placa, se atornilla el casquete esférico y se sumerge el conjunto en agua a 5°C durante un minuto. Se saca, se quita el agua del interior del casquete y se hace flotar en el baño de agua la temperatura de 50°C.

A medida que el tapón del asfalto se vaya reblandeciendo al calentarse, irá siendo empujado hacia arriba hasta permitir el paso de agua al casquete esférico. El tiempo en segundos que transcurra desde el momento en que se coloque el casquete en el baño de agua caliente hasta que el agua entre al mismo, será el resultado de la prueba de flotación, teniendo cuidado de que la temperatura del baño no sea la especificada y que al vaciar el asfalto en el molde haya quedado aire atrapado.

#### G) Determinación del contenido de Agua

Esta prueba se lleva a cabo con el objeto de determinar la cantidad de agua presente en asfaltos rebajados, agua que generalmente da origen a la formación de espuma al calentar el producto asfáltico provocando con ello dificultad en su manejo, la prueba se ejecuta de la siguiente manera:

Se miden  $100 \text{ cm}^3$  del producto asfáltico usando para ello una probeta graduada. Luego se vacían en un matraz de 500 mililitros de capacidad, de cuello corto y fondo esférico utilizando  $100 \text{ cm}^3$  de solvente para limpiar perfectamente la probeta. El asfalto del lavado de la probeta se vacía al matraz e inmediatamente se conecta la trampa y el condensador al matraz debiendo comenzarse así con el calentamiento del matraz pero estando ya circulando agua por el condensador. La destilación debe llevarse a cabo en forma tal que se obtenga de 2 a 5 gotas de destilado por segundo y continuarse durante una hora. El volumen del agua condensada y recogida en la trampa, expresada en  $\text{cm}^3$ , representará el porcentaje de agua presente en el producto asfáltico analizado.

#### H) Punto de Reblandecimiento

El método que a continuación se expondrá, es un método arbitrario para la determinación de la temperatura a la cual fluye un asfalto hasta cierto grado. A medida que se calienta el asfalto, gradualmente se hace más blando hasta llegar a una temperatura a la cual fluye fácilmente, no habiendo una temperatura crítica durante el calentamiento a la cual cambie repentinamente de sólido a líquido. La prueba se lleva a cabo de la forma siguiente:

Sobre una placa de bronce, que haya sido previamente -

analgamada, se coloca un anillo de latón de 15,88 milímetros de diámetro interior y 6,35 milímetros de altura, en posición invertida y se llenará con asfalto, el cual haya sido previamente calentado y se dejará enfriar durante una hora, después de haber pasado una hora, se quita el exceso de asfalto con una espátula caliente. se pueden presentar los dos casos siguientes: (1) si se trata de asfaltos cuyo punto de fusión es de 80°C, se vaciará en el vaso hasta una altura de 8,25 centímetros, agua destilada a 5°C, se colocará el anillo dentro del agua hasta tener exactamente 2,54 centímetros desde el fondo del vaso hasta la cara inferior del anillo. Se introduce la esfera de 3/8" en el agua dejandola descansar en el fondo del vaso y se suspenderá el termómetro de manera que el bulbo quede a la misma altura que la cara inferior del anillo y a una separación de 6,35 milímetros. Se mantendrá la temperatura del agua a 5°C durante 15 minutos y con unas pinzas adecuadas se cogera la esfera y se colocará cuidadosamente en el centro de la cara superior de la muestra, colocada la esfera se elevará la temperatura del agua a una relación de 5°C por minuto. La temperatura que marque el termómetro en el instante en que el asfalto toque el fondo del vaso se reportará como punto de fusión o de reblandecimiento del asfalto. (2) si se trata de asfaltos con punto de fusión mayor de 80°C se sigue el mismo procedimiento anterior sólo que se usará glicerina químicamente pura en lugar de agua y la temperatura inicial será de 32°C. La flama se colocará a la mitad de la distancia comprendida entre el centro del vaso y la pared más distante del anillo.

#### I) Ductilidad

La ductilidad de un asfalto es la distancia a que puede estirarse sin romperse una muestra patrón de asfalto a la temperatura de 25°C, tirando de los extremos de la muestra hacia afuera a la velocidad de 5 centímetros por minuto. En la ma-

yoría de los trabajos donde se emplea el asfalto se requiere que este tenga cierta ductilidad en vez de romperse inmediatamente. Una ductilidad alta es deseable en caminos para que no se agriete la carpeta al presentarse algún desplazamiento. La prueba se ejecuta de la manera siguiente:

Se amalgaman dos piezas laterales removibles del molde de latón para formar la briqueta de prueba y la placa de cobre para evitar que se adhiera al asfalto. Para ello se aplicará con un trapo una pasta formada por glicerina y arcilla de china, se colocará el molde encima de la placa en posición horizontal y se vaciará el asfalto que haya sido previamente fundido a la temperatura más baja posible hasta alcanzar un nivel ligeramente mayor que el de enrase. Se deja enfriar a la temperatura ambiente durante 40 minutos, después de lo cual se sumergirán la briqueta y la placa en un baño de agua a 25°C y se mantendrá en él durante 1 1/2 horas, después de lo cual se quitarán las piezas laterales y la placa de cobre e inmediatamente se colocará la briqueta en el aparato de prueba, debiendo quedar el nivel de agua a no menos de 2.5 centímetros de la cara superior de la briqueta. Se pondrá en marcha el aparato, se medirá la distancia que se ha desplazado la mordaza hasta que se rompa la briqueta. Esta distancia en centímetros expresará la ductilidad del asfalto.

#### J) Solubilidad en Tetracloruro de Carbono

La prueba de solubilidad se efectúa con un exceso de solvente en una muestra de cemento asfáltico previamente pesado se filtra la solución para retener cualquier material insoluble, el cual se seca a unos 80 a 100°C y se pesa. El porcentaje en peso del material soluble se obtiene calculando el por ciento de material insoluble y restando de 100.



#### K) Pérdida por Calentamiento

Para ejecutar ésta prueba se someten 500 gramos de cemento asfáltico a un calentamiento de 5 horas y una temperatura de 160°C. Al finalizar el periodo de calentamiento se saca la cápsula del horno y una vez enfriada se pesa nuevamente para calcular las pérdidas debidas a la volatilización y se reportará como el porcentaje del peso original de la muestra.

## Pruebas en Emulsiones Asfálticas

### A) Residuo por Destilación

Esta prueba tiene por objeto determinar las proporciones de agua y residuo asfáltico contenido en la emulsión asfáltica. El residuo de la destilación se utiliza para efectuar - las pruebas de penetración, ductilidad y solubilidad en tetracloruro de carbono.

La determinación consiste en calcular el por ciento en peso, con relación al peso total de la muestra original, de residuo asfáltico obtenido por destilación a 260°C, utilizando un equipo y procedimiento especial, debido a los problemas que origina el agua contenida en la emulsión al calentar ésta. Con éste método puede también determinarse el contenido de disolvente leyendo su volumen en la probeta (el agua se separa).

$$C_d = \frac{\text{Volumen de solventes}}{\text{Volumen de emulsión}} \times 100$$

### B) Residuo por Evaporación

El objeto de esta prueba es determinar el residuo de las emulsiones asfálticas, en por ciento respecto a su peso original mediante evaporación en el horno. El residuo así obtenido tiende a dar valores de penetración y ductilidad inferiores a los que se obtienen en el residuo de la destilación, por lo que en ciertos casos puede utilizarse esta prueba para tener una idea de las dos propiedades mencionadas anteriormente.

La prueba consiste en vaciar 50 gramos de emulsión en un vaso de precipitados de 600 cm<sup>3</sup>, se mete al horno para evaporar el agua que contiene calentando a una temperatura de - 163°C.

$$\% \text{ de Residuo} = \frac{\text{Peso de residuo}}{\text{Peso original de la muestra}} \times 100$$

### C) Asentamiento

El objeto de esta prueba es obtener un índice de la estabilidad que tienen las emulsiones asfálticas para soportar - un almacenamiento prolongado.

El procedimiento consiste en dejar en reposo la muestra de emulsión, durante 5 días debiéndose determinar después, - el por ciento de residuo por evaporación, tanto de la parte superior de la muestra como de la parte inferior.

$$\text{Asentamiento} = \text{Residuo inf.} - \text{Residuo sup.}$$

### D) Retenido en la malla N° 20

El objeto de esta prueba es determinar el contenido de - asfalto en forma de globulos relativamente grandes y que no se manifiestan en la prueba de asentamiento y que pueden afectar el espesor y uniformidad de la película de asfalto con - que se cubren las partículas de agregado pétreo.

El procedimiento consiste simplemente en pasar la muestra de emulsión por una malla N° 20 y determinar el retenido en por ciento, antes de pesar el retenido, se debe lavar és-

te con una solución de oleato de sodio al 2 % y secarse en un horno a 105°C.

$$R_{20} = \frac{W \text{ retenido}}{W \text{ muestra}} \times 100$$

#### E) Demulsibilidad

El objeto de esta prueba es obtener un índice de la estabilidad de las emulsiones asfálticas de rompimiento rápido y medio.

La demulsibilidad es el por ciento de cemento asfáltico con relación al residuo obtenido por destilación (R), que se obtiene como residuo (R'), después de 4 minutos de incorporación y mezclado de una solución de cloruro de calcio. Solución 0.02 N para emulsiones de rompimiento rápido y 0.10 N para emulsiones de rompimiento medio.

El residuo se obtiene por decantación.

$$D = \frac{R'}{R} \times 100$$

#### F) Miscibilidad con Cemento Portland

Esta prueba se aplica a las emulsiones asfálticas de rompimiento lento y tiene la misma finalidad que la prueba de demulsibilidad, que se efectúa a las emulsiones de rompimiento rápido o medio.

El procedimiento de prueba consiste en determinar el peso en gramos del asfalto retenido en una malla N°14, de una

mezcla hecha en 4 minutos con 50 gramos de cemento Portland, 100 gramos de emulsión diluida con agua para que su residuo sea de 55 % y 150 cm<sup>3</sup> de agua destilada. Previamente al pesado se seca el residuo en un horno a 163°C.

$$M = \frac{W_{\text{residuo}}}{W_{\text{emulsión diluida}}} \times 100$$

#### G) Cubrimiento del Material Pétreo en Condiciones de Trabajo

La prueba que se describe sirve para determinar las propiedades de una emulsión asfáltica cationica en lo que respecta a su facilidad para cubrir un agregado pétreo, soportar una acción de mezclado mientras permanece como una película sobre el agregado y resistir la acción de agua de lavado después de concluido el mezclado. Este método ayuda a identificar la emulsión apropiada para mezclarse con los materiales petreos gruesos que se utilizarán en la obra.

El procedimiento consiste en estimar como bueno, regular o malo el cubrimiento que se alcanza en una mezcla de 465 - gramos de material pétreo y 35 gramos de emulsión, probada - esta con agua corriente, después de los 5 minutos que tarda su elaboración.

Se califica el cubrimiento antes y después de someter a lavado la mezcla.

#### H) Carga Eléctrica de la Partícula

Esta prueba tiene por objeto identificar las emulsiones asfálticas a través de su polaridad eléctrica, las partículas de asfalto con carga eléctrica positiva se clasifican como cationicas.

Para realizar esta determinación se introducen en un vaso de vidrio que contenga la emulsión los electrodos separados de un equipo que proporcione corriente directa de 12 - voltios, se aplica corriente durante 30 minutos con una intensidad de 8 miliamperes, se suspende la corriente y se lavan los electrodos.

La polaridad será positiva si el asfalto se ha depositado en el cátodo y la emulsión es cationica; si el asfalto se deposita en el ánodo la polaridad será negativa y la emulsión anionica.

#### I) Determinación del Potencial de Hidrógeno (pH)

El objeto de esta prueba es determinar el potencial de hidrógeno de la fase acuosa de las emulsiones asfálticas lo que ayuda a identificar el tipo de emulsión, especialmente en el caso de las de rompimiento lento. El pH es un valor numérico empleado para expresar el grado de acidez o de alcalinidad de las disoluciones y representa la concentración de iones de hidrógeno ( $H^+$ ) que esta contenido en ellos.

De la medición del pH se pueden obtener indicaciones con respecto al comportamiento de la emulsión en función de su velocidad de rompimiento y de las características de acidez o alcalinidad del agregado pétreo con que se utilice.

La prueba se realiza colocando en un recipiente apropiado una muestra representativa de la emulsión asfáltica, en donde se sumergen los electrodos. A continuación se obtiene utilizando un aparato medidor de pH (potenciómetro), la concentración de  $H^+$ , expresada como unidades de pH, lo que da la acidez o alcalinidad de la emulsión probada.

## C A P I T U L O VI

### CONCLUSIONES

Respecto a las mezclas asfálticas deben ser lo suficientemente estables con el fin de que no se vuelvan rugosas o vayan a presentar ondulaciones por la acción del tránsito o los efectos del frenado del mismo.

La estabilidad de la carpeta asfáltica se debe a la combinación de dos cualidades que en cierto modo se encuentran presentes en todas las mezclas asfálticas: La fricción y la cohesión. Sin embargo, se encuentran más relacionadas a la fricción que a la cohesión, aunque esta última juega un papel importante en ciertas cosas. Cierta cantidad de cohesión es necesaria a fin de que el pavimento trabaje satisfactoriamente.

Es bien conocido que toda carpeta asfáltica necesita cierta cantidad de tránsito o acción de amasado para que impida que el cemento asfáltico se muera y por lo tanto prolongar la duración de la carpeta. La acción continua de amasado causado por el tránsito tiende a remezclar los materiales y a conservarlos en su estado natural.

La cantidad óptima de materiales utilizados en las carpetas asfálticas, debe ser determinada en un laboratorio por personas capacitadas y ante todo, es obligación de primordial importancia establecer y mantener uniformidad en las operaciones de construcción de la carpeta asfáltica, ya que todas las técnicas de proyecto serán inútiles a menos que las operaciones de construcción sean cuidadosamente controladas.

Las carpetas asfálticas empleadas en los pavimentos flexibles se pueden clasificar como:

#### Tratamientos Superficiales

El tratamiento superficial simple o de un riego se recomienda para tránsito inferior a 200 vehículos por día. En zonas de alta precipitación pluvial, conviene mejor colocar un tratamiento superficial doble o de dos riegos, para mayor eficiencia y duración del pavimento y es aconsejable para un tránsito inferior a 600 vehículos por día. La carpeta asfáltica de tratamiento superficial triple o de tres riegos admite perfectamente bien los 1,000 vehículos por día. El espesor de estas carpetas son las de menor costo y calidad, son muy sencillas de construir y con poco equipo.

#### Macadam Asfáltico

El macadam asfáltico o de penetración es una carpeta asfáltica que consiste en dos capas sucesivas de piedras progresivamente más pequeñas de abajo hacia arriba, limpias y angulares. Cada capa se extiende y se acuña mediante compactación por vibración después de lo cual se baña con producto asfáltico.



Es necesario contar con una buena base ya que siendo el macadam asfáltico una carpeta que presenta gran porcentaje de vacíos, principalmente en la parte inferior de la capa, si la base se reblandece, el paso constante de los vehículos obligará a que la base se incruste en la carpeta provocando se una deformación perjudicial.

#### Mezcla en el Lugar

La mezcla asfáltica en el lugar o en el camino se lleva a cabo revolviendo los agregados pétreos con el producto asfáltico mediante el uso de motoconformadoras o empleando mezcladoras ambulantes.

La cantidad de asfalto varía con la granulometría y puede variar de 3 a 6 %. Estas carpetas pueden tener un espesor de 4 a 7 cm, la permeabilidad deberá ser menor del 10 %, la pérdida de solventes necesarios para que la mezcla pueda ser empezada a compactar debe ser determinada por un laboratorio. Su calidad es superior a la de tratamientos superficiales.

#### Mezcla en Planta

Se llevan a cabo generalmente calentando el asfalto y muchas veces también el agregado pétreo. Como la dosificación de los agregados se hace por volumen, no resulta una mezcla de alta calidad a no ser que su control sea extremadamente riguroso.

Debido a la incertidumbre en la dosificación estas mezclas resultan casi iguales a las elaboradas en el camino con mezcladoras ambulantes, por lo que su uso no se ha generalizado.

## Concreto Asfáltico

Los concretos asfálticos son mezclas elaboradas por peso en plantas estacionarias, calentando los agregados y empleando en su elaboración cementos asfálticos. Los concretos asfálticos, debido a la precisión de su dosificación resultan de alta calidad y deberán usarse para avenidas, estacionamientos industriales, calzadas, carreteras urbanas y autopistas.

## Pavimentos de Concreto

Los pavimentos típicamente rígidos, son los de concreto. Estos pavimentos están formados exclusivamente por la losa de concreto, la cual puede colocarse directamente sobre la subrasante (para poco tránsito o suelos buenos de la subrasante) o sobre la subbase, que tiende a corregir defectos del suelo subrasante, siendo así un mejoramiento de esa capa.

Estructuralmente, la subbase tiene poco valor en relación con la losa. Por lo tanto, si el suelo de la subrasante es de tipo granular, o si el pavimento no estará sujeto a tránsito intenso, no se justifica el uso de la capa subbase. Estos pavimentos de concreto son muy adecuados para calles de ciudades o plantas industriales.

## B I B L I O G R A F I A

- (1) Echegaray del Solar, UNAM F.I., "Prontuario de la - Asignatura de Pavimentos". pág. 1-9 y 53-60
- (2) Manuel Madrazo, UNAM F.I., "Aspectos Químicos de los Asfaltos y Mezclas Asfálticas", pág. 1-23.
- (3) Federico Alcaraz Lozano, C.E.C. UNAM F.I., "Curso de Diseño y Construcción de Pavimentos.- Carpetas Asfálticas", pág. 1-20.
- (4) Carlos Crespo Villalaz, "Vías de Comunicación", pág. 221-284.
- (5) Jesús Moncayo V., C.E.C.S.A., "Manual de Pavimentos", pág. 13-84.
- (6) Alfonso Olivera B., "Vías Terrestres", pág. 1-11 y 112-123.
- (7) Especificaciones Generales de Construcción en el Ra mo de Obras Viales, D.D.F., Dirección General de - Obras Públicas, Capítulos I y III.