



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Ingeniería  
División de Ingeniería Civil, Topográfica  
y Geodésica

187

**Construcción y Comportamiento de  
Pavimentos en Caminos**

**TRABAJO ESCRITO**

Elaborado en opción de  
Tesis Profesional  
para obtener el título de

**INGENIERO CIVIL**

p o r

*Trejo Lugo Antonio*

**DONADO POR D. G. B. - B. C.**

México, D. F.

Junio 1984



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## I N D I C E

	PAGINAS
INTRODUCCION	1
I.- TIPOS DE PAVIMENTOS	4
1.- PAVIMENTOS FLEXIBLES	5
2.- PAVIMENTOS RIGIDOS	6
II.- CONSTITUCION DE LOS PAVIMENTOS	9
1.- PAVIMENTOS FLEXIBLES	10
a) SUB-BASE	10
b) BASE	13
c) CARPETA	16
2.- PAVIMENTOS RIGIDOS	18
a) SUB-BASE	19
b) LOSA DE CONCRETO	23
c) JUNTAS	24
III.- ELABORACION	29
1.- SUB-BASES Y BASES	30
2.- CARPETAS ASFALTICAS	34
3.- FABRICACION DEL CONCRETO	41
IV.- COLOCACION	44
1.- SUB-BASES Y BASES	45
2.- RIEGO DE IMPREGNACION	51
3.- CARPETAS ASFALTICAS	53

	PAGINAS
3.1 CARPETA ASFALTICAS POR EL SISTEMA DE RIEGO	53
3.2 RIEGO DE LIGA	60
3.3 CARPETAS DE MEZCLA EN EL LUGAR	61
3.4 CARPETAS DE CONCRETO ASFALTICO	61
4.- RIEGO DE SELLO	65
5.- LOSA DE CONCRETO	65
 V.- PRUEBAS	 71
1.- HUMEDAD OPTIMA Y PESO VOLUMETRICO SECO MAXIMO.	72
2.- CONTRACCION LINEAL	73
3.- EQUIVALENTE DE ARENA	74
4.- DESGASTE	75
5.- VALOR CEMENTANTE	77
6.- PRUEBA ESTANDAR DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE	79
7.- GRANULOMETRIA	81
8.- AFINIDAD CON EL ASFALTO	83
9.- PERDIDA DE INTEMPERIMO ACELERADO	85
10.- PRUEBA MARSHALL	86
11.- PERMEABILIDAD DE CARPETAS	91
12.- REVENIMIENTO	93
13.- PRUEBA DE RESISTENCIA A LA FLEXION	94
 VI.- CONCLUSIONES	 98

INTRODUCCION

Dentro de los campos en la profesión del Ingeniero Civil ocupa un lugar preponderable la construcción. En la realización de una obra, este campo sigue inmediatamente al diseño y precede a los de operación y mantenimiento de obras. La construcción de pavimentos consiste en combinar maquinaria, materiales y obra de mano, a fin de obtener la obra o parte de la misma, de acuerdo con lo planeado en el diseño.

En la planeación de la construcción de un pavimento, el problema de selección de equipo trata de determinar -- que tipo, modelo y tamaño de máquinas deberá usar el ingeniero para realizar su proceso dentro de las restricciones impuestas por el proyecto. Al definir esto el ingeniero estará planeando el proceso constructivo, o dicho -- en otra forma definirá en todos sus puntos el procedimiento de construcción a usarse.

Un pavimento puede definirse como la capa o conjunto de capas de materiales apropiados, comprendidas entre el nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento de una obra vial, cuyas principales funciones son las de proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, de color y textura apropiados, resistente a la acción del tránsito, a la del intemperismo y otros agentes perjudi-

ciales, así como transmitir adecuadamente a las terracerías los esfuerzos producidos por las cargas impuestas por el tránsito.

En otras palabras, el pavimento es la superestructura de la obra vial, que hace posible el rodamiento de vehículos de una manera confortable y segura. La estructura o disposición de los elementos que lo constituyen, así como las características de los materiales empleados en su construcción, ofrecen una gran variedad de posibilidades, de tal suerte que puede estar formado por una sola o más capas comúnmente por varias y, a su vez, éstas pueden ser de materiales naturales seleccionados, sometidos a muy diversos tratamientos; su superficie de rodamiento propiamente dicha puede ser una carpeta asfáltica, una losa de concreto hidráulico o estar formada por acumulaciones de materiales pétreos compactados.

Cuando el nivel del tránsito empieza a tener importancia se hace imperativo recubrir la superficie de las terracerías con una capa que cumpla los siguientes requisitos:

- 1.- Ser estable ante los agentes del intemperismo
- 2.- Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.

- 3.- Tener textura apropiada al rodamiento
- 4.- Ser durable
- 5.- Tener condiciones adecuadas en lo referente a permeabilidad.
- 6.- Ser económica

Los anteriores requisitos definen una capa de material granular de muy buena calidad, que no es posible obtener en forma del todo natural y cuyas partículas deben ser - inclusive ligadas de un modo artificial. Los suelos naturales cohesivos nunca podrían soportar la acción directa y prolongada del tránsito; los materiales granulares, - tal como se encuentran, a pesar de su mayor resistencia - potencial ofrecerían una superficie inestable por falta - de cohesión.

## I.- TIPOS DE PAVIMIENTOS

Los pavimentos se diferencian y definen en términos de los materiales de que están constituidos y de cómo se estructuran esos materiales y no por la forma en cómo distribuyen los esfuerzos y las deformaciones producidas por los vehículos a las capas inferiores.

Las condiciones de drenaje y subdrenaje de la vía terrestre son seguramente uno de los puntos más importantes para definir tanto la vida de un pavimento, como su necesidad de conservación.

Los pavimentos pueden ser de dos tipos:

1.- Pavimentos flexibles

2.- Pavimentos rígidos

1.- PAVIMENTOS FLEXIBLES

Los pavimentos flexibles son combinaciones de materiales pétreos graduados y material asfáltico, su superficie de rodamiento está formada por una carpeta asfáltica, bajo la cual se localizan otras capas de materiales seleccionados cuya calidad va disminuyendo con la profundidad. El problema de dimensionamiento consiste en variar el espesor y la calidad de los materiales empleados en cada capa.

En algunas ocasiones puede convenir utilizar en las capas de pavimento, materiales cuya resistencia a la tensión sea considerable- añadiendo a los materiales pétreos porcentajes apropiados de un aglutinante, como el cemento, el asfalto o la cal; las capas así tratadas ven correspondientemente aumentada su capacidad de distribución de esfuerzos, con los que se pueden tener grandes ahorros de espesor; este sistema es muy usado en la actualidad.

## 2.- PAVIMENTOS RIGIDOS

Se considera un pavimento rígido a aquel cuyo elemento fundamental resistente sea una losa de concreto hidráulico. La capa de rodamiento se construye con suficiente espesor y de una calidad tal que se logra que los esfuerzos transmitidos a la terracería sean compatibles con la calidad de ésta. Cualquier pequeña cedencia permanente de los suelos bajo la losa es absorbida por la resistencia de la misma a la tensión.

Los pavimentos rígidos, además de ofrecer una gran capacidad para distribuir adecuadamente los esfuerzos a las terracerías, ofrecen también una gran durabilidad y un bajo costo de conservación, pero su costo de construcción es alto y están circunscritos a la disponibilidad de los

materiales necesarios y a un equipo de construcción especializado. Por lo que su economía debe valorarse siempre a largo plazo. Esta consideración debe tomarse muy en cuenta sobre todo en los casos de tránsito muy intenso donde no se permite la suspensión del mismo o bien, en los casos donde en el futuro, no se pueda cotar con medios para realizar una conservación adecuada. Por lo anterior, se desprende que el empleo de los pavimentos de concreto tienen su máxima aplicación en autopistas con tránsito pesado, en zonas urbanas, en aeropistas, etc.

Continuamente se están requiriendo mayores volúmenes de pavimentos de concreto hidráulico ante todo en áreas expuestas a excesivo desgaste por tránsito intenso y pesado o materiales corrosivos.

El pavimento rígido puede soportar excelentemente todas las condiciones de tráfico intenso pesado, materiales químicos corrosivos y dañinos en relación a otros tipos de pavimentos, sin afectar su calidad y durabilidad. Sin embargo, como el concreto hidráulico es de sencillo manejo, muchos constructores abusan de los procedimientos de colocación inadecuados, obteniendo como resultado pavimentos de mala calidad y de poca durabilidad. Si observamos las normas que establecen las especificaciones para

la fabricación y colocación del concreto hidráulico en pavimentos seguramente obtendremos resultados en economía y calidad tanto a corto como a largo plazo.

No hay reglas fijas que permitan establecer el tipo de pavimento conveniente en cada caso y el punto deberá establecerse en cada situación particular.

Elegido el tipo de pavimento, deberán seleccionarse los materiales que intervendrán en su estructura. Es posible que estos se ofrezcan en abundancia y que el problema estribé en establecer su selección idónea, pero también es posible que escaséen a tal grado que obliguen al proyecto del pavimento en su conjunto a adaptarse a los que existan.

Cuando se fijan los bancos de materiales que se utilizarán en la construcción de un pavimento sobrevienen muchos problemas de solución incierta en lo referente a la homogeneidad de los bancos, los métodos de extracción a seguir, los tratamientos a dar a los diferentes materiales el volúmen de los desperdicios y el del material aprovechable, todos los cuales se reflejan mucho en los costos.

## II.- CONSTITUCION DE LOS PAVIMENTOS

## 1.- PAVIMENTOS FLEXIBLES:

Las diferentes capas de materiales que constituyen a un pavimento flexible se mencionan a continuación:

Bajo una carpeta bituminosa, formada típicamente por una mezcla de agregado pétreo y un aglutinante asfáltico, que constituye la superficie de rodamiento propiamente dicha, se disponen casi siempre por lo menos dos capas bien diferenciadas: una denominada base, de material granular y otra llamada sub-base formada, generalmente, también por un suelo granular, aunque el requisito obligue menos que en la base, en el sentido de poderse admitir suelos de menor calidad, con mayor contenido de finos y menor exigencia en lo que se refiere a granulometría; la razón se debe al mayor alejamiento de la sub-base de la superficie de rodamiento, por lo que llegan esfuerzos de menor intensidad.

Los anteriores elementos se pueden apreciar en la figura 2.1.

### a) SUB-BASE

Básicamente conviene buscar dos cualidades principa-

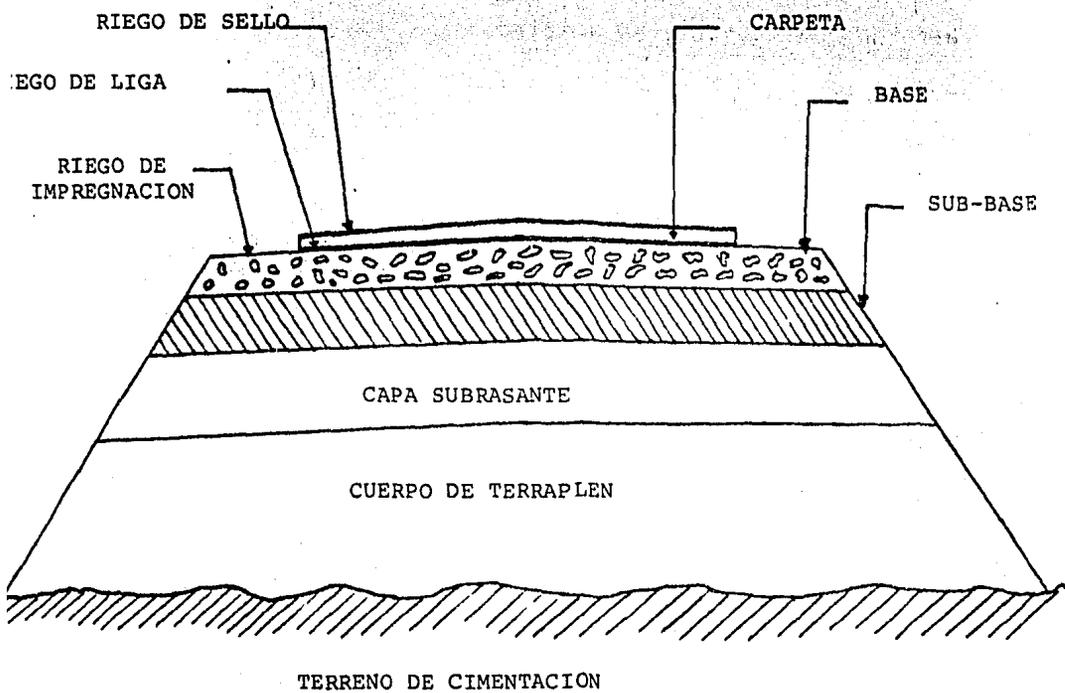


FIG. 2.1.- SECCION TIPICA DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE

les en un material de sub-base, que son la resistencia friccionante y la capacidad drenante. La primera beneficiará la resistencia del conjunto y a la vez, será garantía de un buen comportamiento en cuanto a deformabilidad, pues un material que posee esa calidad de resistencia será poco deformable a condición de estar bien compactado. La capacidad drenante es muy importante, ya que el actuar como dren para desalojar el agua que se infiltre desde -- arriba y para impedir la ascensión capilar hacia la base, de agua procedente de la terracería, es decir, que permitirá al pavimento eliminar convenientemente tanto el agua que se filtre por su superficie, como la que asciende por capilaridad.

Otra función de la sub-base consiste en servir de transición entre el material de la base, generalmente granular grueso y el de la subrasante, que tiende a ser mucho más fino; además actúa como filtro de la base e impide su incrustación en la subrasante.

La sub-base también se coloca para absorber deformaciones perjudiciales en la subrasante; por ejemplo, cambios volumétricos asociados a cambios de humedad, que podrían llegar a reflejarse en la superficie del pavimento.

Es común exigir a los materiales de sub-base requisitos de tamaño máximo, granulometría, plasticidad, equivalente de arena, valor relativo de soporte. También suelen fijarse requerimientos mínimos de compactación.

Los espesores de la misma son muy variables y dependen de cada proyecto específico, pero suelo considerarse 12 ó 15 cm. como la dimensión mínima constructiva.

#### b) BASE

Su función principal es estructural, ya que, proporciona un elemento resistente a la acción de las cargas -- del tránsito capaz de transmitir con intensidades adecuadas los esfuerzos resultantes, así mismo debe de eliminar rápidamente el agua que llegue a infiltrarse a través de la carpeta, así como de impedir la ascensión capilar del agua proveniente de las capas inferiores.

El material a emplear debe de ser friccionante y su ficientemente previsto de vacíos, lo cual garantizará la resistencia estructural adecuada y la permanencia de ésta al variar condiciones circunstanciales, por ejemplo, el contenido de agua. Si se utiliza un material fino, cohe-

sivo, difícilmente obtendrá la resistencia apropiada, necesaria para resistir las cargas del tránsito.

Una vez que el material friccionante adquiere la compactación y trabazón estructural que la compactación buena proporciona, se llega a una base adecuada. A los agregados pétreos o fragmentos rocosos que forman la base, se les somete a diversos tratamientos para mejorar sus propiedades, entre los que se encuentra la trituración; la cual produce efectos favorables en la resistencia, ya que proporciona partículas de aristas vivas entre las que es importante el efecto de acomodo estructural, por lo que aumenta la resistencia. Otro proceso es el cribado, con lo que se llega a satisfacer la granulometría fijada. Una buena granulometría ayuda a la resistencia, permite alcanzar mayor compactación con la compactación.

Otro tratamiento es el lavado, el cual muchas veces se especifica en los proyectos para ser realizado sobre los materiales provenientes de bancos con los que se construirá una base. Los beneficios son obvios, pues se eliminan los finos ya que estos son indeseables en una base, pues afectan desfavorablemente la resistencia, aumentan la deformabilidad y perjudican la función drenante.

Los materiales, naturales o triturados, puramente friccionantes y sin finos, al ser compactados formando la base, presentan el problema de que la zona superior de la capa pierde rápidamente su compactación y queda sin ninguna resistencia al desplazamiento lateral de las partículas una vez que la base ha sido terminada.

Cuando se trata de una carretera de muy alto tránsito sobre la que ha de colocarse una carpeta muy espesa, los inconvenientes anteriores son superables, pues al compactar la carpeta se reacomodará en lo necesario la parte superior de la base la que, puede haberse defendido con un riego de impregnación. La carpeta espesa proporcionará al material granular un confinamiento suficiente para que se mantengan en el tiempo las buenas cualidades de resistencia y deformabilidad propias de un material granular bien compactado.

En los caminos de alto tránsito se tienen las condiciones adecuadas para poder manejar bases prácticamente sin finos o con porcentajes mínimos de éstos, los cuales no serán mayores de 5%.

En caminos de bajo tránsito las condiciones son diferentes, ya que se utilizará una carpeta mínima, quizá

construida por el sistema de un riego, que no alcanzaría a dar el confinamiento necesario para mantener la resistencia en una base puramente granular. Con la incorporación de una cierta cantidad de finos a la base se le busca dar una resistencia cohesiva, sin perjudicar mucho las características de resistencia, deformabilidad e hidráulica, el abuso en el empleo de finos es una de las más seguras causas de falla de un pavimento.

El material friccionante que cumpla satisfactoriamente los requisitos de resistencia y deformabilidad cumplirá también, casi seguramente los requisitos mínimos de permeabilidad.

### c) CARPETA

La carpeta debe proporcionar una superficie de rodamiento estable, capaz de resistir la ampliación de las cargas, la fricción de las llantas, los esfuerzos de frotamiento, los impactos; debe tener la textura necesaria para permitir un rodamiento seguro y cómodo y un frenaje apropiado; la carpeta debe resistir la acción de los agentes del intemperismo. Es de desear que tenga un color que evite reflejos del sol durante el día o de luces artifi-

ciales durante la noche.

La exposición directa a las cargas del tránsito y la indeformabilidad necesaria para el buen servicio implican que la carpeta esté formada con material que ofrezca suficiente resistencia bajo condiciones de presión normal exterior nula, que priva en la frotera superior del pavimento; en otras palabras, se requiere ahora un material que posea "cohesión" y es precisamente el producto asfáltico que liga los agregados pétreos el que la proporciona, en el caso de las carpetas bituminosas.

Los materiales asfálticos que se emplean en las carpetas serán:

- a) Asfaltos rebajados de fraguado rápido, que son los materiales asfálticos líquidos, compuestos de un cemento asfáltico y un disolvente del tipo de la nafta o gasolina.
- b) Asfaltos rebajados de fraguado medio que son los materiales asfálticos líquidos, compuestos de un cemento asfáltico y un disolvente del tipo del queroseno.

- c) Asfaltos rebajados de fraguado lento, que son los materiales asfálticos líquidos, compuestos de un cemento asfáltico y un disolvente de alta volatilidad o aceite ligero.
- d) Emulsiones asfálticas, que son los materiales asfálticos líquidos estables, formados por dos fases no miscibles, en los que la fase continua de la emulsión esta formada por agua y la fase discontinua por pequeños glóbulos de asfalto. Dependiendo del agente emulsificante, las emulsiones asfálticas pueden ser aniónicas, si los glóbulos de asfalto tienen carga electronegativa o catiónicas, si los glóbulos asfálticos tienen carga electropositiva. Las emulsiones asfálticas pueden ser de rompimiento rápido, medio y lento.

## 2.- PAVIMENTOS RIGIDOS:

Un pavimento rígido tiene como elemento estructural fundamental una losa de concreto, la cual se apoya sobre una capa de material seleccionado, denominada sub-base; cuando la subrasante tenga una calidad suficientemente buena, la losa de concreto puede colocarse directamente so-

bre ella, prescindiéndose con ello de una sub-base especial. De lo que se trata es de que la losa de concreto - tenga un apoyo suficientemente uniforme y estable, como para garantizar que no quede localmente falta de soporte; el como se logre esto y que capas de suelo hay que proporcionar para ello depende de la calidad de los materiales que se estén utilizando, de los niveles de compactación que se empleen y de las condiciones locales de clima y drenaje.

La sección típica de un pavimento rígido se puede apreciar en la figura 2.2.

Los elementos que constituyen a los pavimentos de concreto hidráulico pueden definirse de la siguiente manera:

a) SUB-BASE

Consiste en una capa relativamente delgada de materiales granulares seleccionados o especificados de un espesor prescrito colocado entre la subrasante y la losa de concreto, muchas veces estabilizados; sólomente cuando la subrasante cumpla con las características que se estiman deseables para la sub-base podrá evitarse el construirla en forma especial.

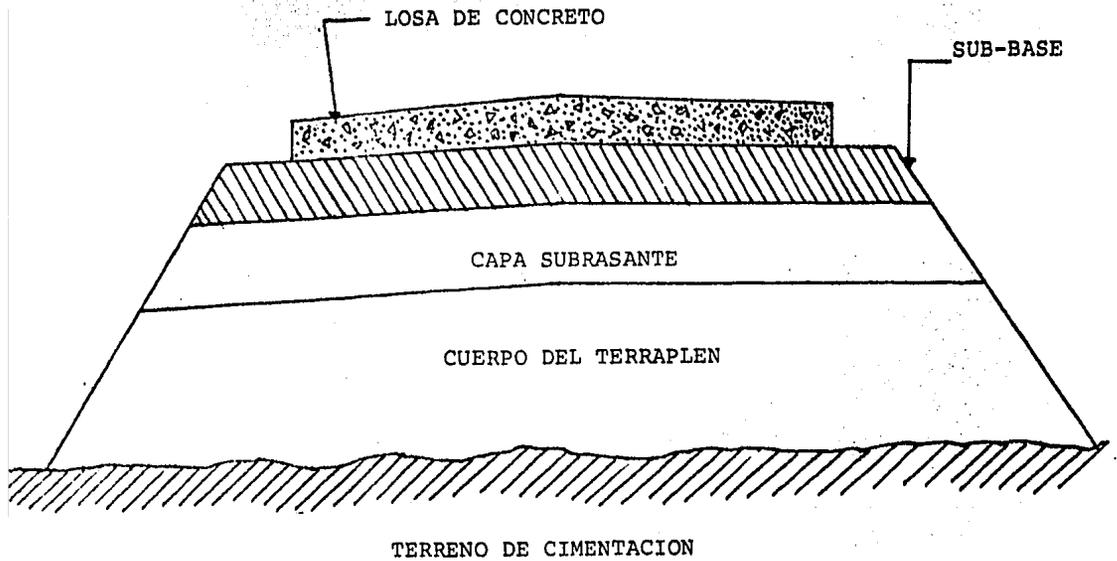


FIG. 2.2.- SECCION TIPICA DE UN PAVIMENTO RIGIDO

Las principales funciones de la sub-base de un pavimento rígido son las siguientes:

- a) Proporcionar apoyo uniforme a la losa de concreto
- b) Incrementar la capacidad portante de los suelos de apoyo.
- c) Reducir a un mínimo las consecuencias de los cambios de volumen que puedan tener lugar en el suelo que forme las terracerías.
- d) Reducir a un mínimo las consecuencias de la congelación de los suelos de las terracerías.
- e) Evitar el bombeo.

Existen dos tipos de sub-base, cuya diferencia se define en los materiales:

- a) Sub-base granular, aquellas compuestas de materiales graduados y que durante su construcción se estabilizan con agua para obtener la máxima compactación (Sub-base hidráulica).
- b) Sub-base tratada con cemento. Compuesta de materiales (suelos gravosos con cantidades apreciables de finos) que no satisfacen a las especificaciones,

pero que tratados con cemento y por medio de una compactación óptima, se obtiene un material sólido, resistente y con una capacidad muy grande para soportar las cargas impuestas por el tránsito.

El ancho de la sub-base debe ser cuando menos el ancho de la corona más 30 cm a cada lado del pavimento, con el fin de alejar de la orilla de la losa los problemas que se pueden presentar abajo del pavimento y también, para ofrecer un apoyo firme y regular al paso del equipo de construcción de la losa.

El espesor de la sub-base de los pavimentos rígidos no es objeto de cálculo, sino de receta establecida por la costumbre. Nunca se construyen de menos de 10 cm y probablemente 15 cm es una buena dimensión mínima, pues si se proyectan espesores menores, las inevitables irregularidades en la construcción podrían hacer que en algún lugar el espesor de la sub-base resultara excesivamente pequeño.

En el momento de definir las funciones de la sub-base, se habló de prevenir el bombeo del pavimento. El bombeo es un efecto especial de los pavimentos rígidos, sumamente indeseable, pero muy frecuente cuando no se toman precauciones especiales. Cuando la carga de tránsito pa-

sa por una grieta o junta de la losa, ésta desciende y - transmite presión al material bajo ella. Si el suelo se encuentra saturado, la mayor parte de esta presión la tomará el agua, que tenderá a escapar por la grieta o junta. - Después de pasar la carga, la losa se recupera y levanta, este movimiento produce una succión que ayuda al movimiento del agua bajo la losa. Si el agua tiene capacidad de arrastrar partículas del suelo, saldrá sucia, creando progresivamente un vacío bajo la losa, que tiende a hacer -- que el fenómeno se acentúe; además, el remoldeo que este efecto produce al suelo hace que éste forme un lodo o suspensión con el agua, con lo que el fenómeno se agudiza. - El final del proceso es la ruptura de la losa bajo carga por falta de sustentación.

Para que este fenómeno se efectúe, es necesario que actúen simultáneamente los tres factores siguientes:

- a) Un suelo inmediatamente debajo de la losa de concreto que pueda ir en suspensión.
- b) Agua libre entre la losa de concreto y el material de apoyo del pavimento, o un material sobresaturado.
- c) Pasadas frecuentes de cargas pesadas.

## b) LOSA

Capa de concreto hidráulico colado monolíticamente y limitada por juntas o bordes, colocada inmediatamente encima de la sub-base. Constituye el elemento fundamental del pavimento. Sus funciones son las de proporcionar una superficie de rodamiento adecuada y resistir los efectos abrasivos del tránsito; impedir prácticamente el paso del agua al interior del pavimento y por último, soportar y transmitir en forma conveniente los esfuerzos provocados por el tránsito.

Los factores que afectan al espesor de la losa son principalmente el nivel de carga que han de soportar, las presiones de inflado de las llantas de los vehículos, el módulo de reacción del suelo de apoyo y las propiedades mecánicas del concreto que en ellas se utilice.

Dada la rigidez comparativa de las losas de concreto y su resistencia, los esfuerzos que se transmiten a la sub-base son pequeños, por lo que su resistencia no suele ser un requisito importante. En cambio, el correcto trabajo de las losas exige que estén uniformemente apoyadas y que ese apoyo se mantenga en buenas condiciones durante toda la vida del pavimento; un buen apoyo debe incluir transiciones graduales en donde haya cambios abruptos

en la capacidad portante del terreno, tal como suele suceder, por ejemplo en las transiciones de corte a terraplén o de terraplén a terreno firme, como en las secciones en balcón.

Los cambios volumétricos en el terreno de apoyo, causados por cambios en el contenido de agua, pueden ser causa importante para que las losas pierdan su apoyo uniforme, especialmente si se compactan en el lado seco, materiales con susceptibilidad a la expansión; a los mismos problemas puede llegarse si se permite que se sequen en exceso por evaporación antes de ser cubiertos por la losa. Los materiales que hayan sido compactados con un contenido de agua conveniente. El colocar a los materiales con susceptibilidad a la expansión con contenidos de agua demasiado altos también puede conducir a problemas, pues la contracción posterior, cuando el exceso de agua se pierda, puede producir pérdidas locales de apoyo en las losas, especialmente en las zonas de borde.

### c) JUNTAS

Por la naturaleza del concreto hidráulico, es necesario interrumpir la continuidad del pavimento por medio de juntas, cuyo espaciamiento se determina en el diseño de los pavimentos rígidos.

Durante el proceso de endurecimiento del concreto, parte del agua de la mezcla la toma el cemento para su hidratación y la otra parte se pierde por evaporación y desecamiento. El cemento al hidratarse genera calor con mayor intensidad en las primeras reacciones. Las contracciones que sufre el concreto a temprana edad se deben a esos factores.

El fenómeno del agrietamiento de la losa de concreto se debe además de la contracción que sufre el concreto, a la fricción del apoyo, al clima, a la temperatura de colado, a las condiciones de curado.

El agrietamiento por sí solo crea discontinuidad en el pavimento, debilitándolo en la zona de grietas. En donde se encuentren éstas ya muy abiertas pasarán agua y materiales incompresibles a través de ellas. El agua va a ablandar el apoyo hasta erosionarlo y en el caso de suelos expansivos los va a activar restándole uniformidad del apoyo y provocando las fallas estructurales; los materiales incompresibles van a impedir los movimientos de expansión de la losa, despostillándola y restándole capacidad de carga y durabilidad.

Las juntas se originaron de la necesidad de predeter

minar los lugares donde aparecerán las grietas.

Existen varios tipos de juntas, entre las cuales se encuentran las siguientes:

1) Juntas Longitudinales.- Estas se emplean para controlar las grietas longitudinales de contracción, la distancia entre ellas, la determina el ancho del carril; en carreteras es común 3.7m y en aeropistas no mayor de 7.5 m; pueden quedar formadas al colar en franjas longitudinales el pavimento.- Generalmente llevan barras de sujeción, colocadas a la mitad del espesor para prevenir deslizamientos laterales de las losas.

2) Juntas transversales de contracción. La distancia a la cual se colocan, en losas de concreto simple varía entre 4.5 y 7.5 metros, siendo muy común colocarlos cada 6 metros. El refuerzo de éste tipo de juntas se hace por medio de pasajuntas o varillas de acero, lisas y engrasadas para evitar la adherencia con el concreto, protegerlas contra la corrosión y transmitir por cortante las cargas de una losa a la adyacente. Este esfuerzo se coloca a la mitad del espesor.

Es importante que estas se construyan a todo lo ancho del pavimento en una sola línea recta; si no existe continuidad transversal, el concreto tenderá a agrietarse para producir una junta a todo lo ancho. Esta grieta se debe a los movimientos extremos de la losa en la franja y por la trabazón de las caras de las juntas longitudinales o por las barras de sujeción, provocarán concentraciones de esfuerzos de tensión en la franja adyacente aproximadamente en el punto de contacto de la junta transversal con la longitudinal, causando una grieta transversal.

d) Juntas transversales de construcción.- Tienen como función definir los colados de la franja de concreto transversalmente. Pueden ser de dos tipos:

a) Planéadas.- Para determinar la jornada de trabajo o por necesidades de construcción, interrumpir el colado de la franja en un punto donde coincide una junta transversal de contracción y a todo lo ancho del pavimento. La junta es a tope, formando la cara vertical con una cimbra plana y dejando ahogada la mitad de longitud de la pasajunta, cuando se requiere este esfuerzo, a la mitad

del espesor de la losa. Con un ranurador se prepara la mitad del canal superior para alojar el sello.

b) Emergente.- Se producen cuando por algún imprevisto es necesario interrumpir el colado en un punto no planeado, es decir, donde no coincide con una junta de contracción de la franja lateral colada. Para evitar la grieta, se sujeta el movimiento extremo de las losas con barras de sujeción combinadas con llaves que forman las cimbras en las losas para transmitir correctamente las cargas.

4.- Juntas transversales de expansión.- Se emplean para controlar las dilataciones del concreto, pero como los cambios volumétricos dominantes son por contracción, quedando la dilatación del concreto a un nivel inferior tal que no rebasará a aquella. Según la PCA, estas juntas se deben colocar para unir el pavimento con una estructura (puente, alcantarilla, etc.), para hacer compatibles los movimientos, sin producir esfuerzos extraños en el pavimento y con el fin de dar una superficie continua al paso de los vehículos. También se colocan en

el cruce o unión de dos calles cuando no exista si  
metría en el trazo. Estas juntas coinciden con una  
de construcción, con la diferencia de que se le da  
una mayor separación entre las caras de la losa, -  
colocando entre ellas un material de relleno, com-  
presible, que permita cerrar, abrir y girar la jun  
ta.

### III.- ELABORACION

## 1.- SUB-BASES Y BASES

En nuestro país, los materiales pétreos para sub-base y base se obtienen:

En forma natural, por regado, por cribado, o por trituración y cribado.

La forma más usual es a base de trituración y cribado, por lo que, a continuación se mencionarán algunas características de éstas:

### a) PLANTA DE TRITURACION Y CRIBADO

Es el resultado de la combinación de diferentes elementos o equipos que sirven para triturar y cribar, a tamaños convenientes fragmentos de roca. Las quebradoras, los medios de alimentación, de transporte y de clasificación que la integran, están diseñados para recibir los fragmentos de roca en los tamaños, volúmenes y tiempos, según las exigencias de la operación, para entregar un producto de acuerdo con la demanda.

Los elementos de una planta de trituración son:

- Unidad de alimentación
- Unidad primaria de trituración
- Unidad intermedia o secundaria de trituración
- Unidad para la producción de finos
- Medios de transporte, cribado, alimentación y descarga.

Así mismo, los de una planta de cribado:

- Unidad de alimentación
- Unidad de cribado
- Unidad de almacenamiento y descarga

Cribas.- Son partes mecánicas que sirven para clasificar por tamaños, el material pétreo que ha de utilizarse en la pavimentación o en la fabricación de concretos hidráulicos. En el caso que nos ocupa, pueden definirse como aparatos mecánicos, cilíndricos o de mallas metálicas que sirven para la clasificación del material pétreo triturado.

El equipo para trituración que en la mayoría de los casos es el más conveniente, debe constar de conos y no de rodillos como anteriormente se venía utilizando en forma generalizada en el país.

Los materiales pétreos triturados, aunque lo hayan sido parcialmente, dan carpetas con mayor estabilidad que la que se obtienen con materiales redondeados, debido a que la angulosidad de sus partículas proporcionan un mejor acunamiento entre ellas. Si los materiales presentan superficies rugosas eso contribuye a aumentar la estabilidad por la resistencia que oponen al movimiento.

La forma más eficiente, de obtener las mezclas deseadas en capas estabilizadas, es usar plantas. La planta mezcladora de sub-base y base es lo más adecuado para realizar el mezclado de los materiales. En la actualidad, el mezclado todavía se realiza utilizando motoconformadoras.

Las mezcladoras pueden ser fijas o portátiles.- Sus elementos principales son:

- 1.- Tolva de recepción de los materiales
- 2.- Alimentador automático, con compuertas mezcladora.
- 3.- Banda para el transporte de los materiales a la mezcladora.
- 4.- Mezcladora
- 5.- Banda para llevar la mezcla a la tolva.

6.- Tolva

7.- Silo para cemento o cal, desde el cual se alimenta mediante un alimentador de tornillo, la banda que transporta los materiales a la mezcladora.

8.- Tubo para la incorporación de agua

Las plantas se construyen para diversas capacidades de producción por hora y en función de la mezcladora se proporciona las tolvas, los alimentadores, las bandas y la fuerza motriz necesaria.

La construcción de las capas de sub-base y base con planta mezcladora, presenta las siguientes ventajas sobre el procedimiento de mezclado por medio de motoconformadora:

- 1.- Proporcionamiento volumétrico exacto
- 2.- Homogeneidad de la mezcla
- 3.- Mejor utilización del equipo de compactación, -- puesto que, se pueden ir tendiendo pequeños tramos hasta completar el volumen total e iniciar -- casi desde el principio la compactación.
- 4.- Mejor control de obra; ya que es más fácil controlar plantas que máquinas (motoconformadoras).

## 2.- CARPETAS ASFALTICAS:

La calidad de las mezclas asfálticas, esta en función directa de procedimiento y equipo de elaboración de éstas.

Existen dos tipos de mezclas asfálticas: las elaboradas sobre el camino y las mezcladas en plantas. En las primeras se emplea el asfalto rebajado o la emulsión asfáltica y su control se concreta al volumen del material y al contenido de asfalto. En las segundas el control es más riguroso y se requiere de plantas específicas en las que el material se controla por volumen o por peso.

Mezcla en planta.- Las mezclas asfálticas elaboradas en planta, son de una calidad superior a las construídas por otros procedimientos. Estas plantas pueden ser, desde simple mezcladoras hasta dosificadoras accionadas por computadora.

Plantas de asfalto.- Poseen tolvas de agregados en las cuales se depositan los materiales pétreos, los que después de triturarlos deben clasificarse en tamaños, mediante cribado, según la granulometría obtenida en la planta de trituración se obtendrá la correspondiente, mediante la combinación de los tamaños separados, con que se llenan las tolvas. De éstas, mediante compuertas regu-

lables y en la proporción debida, se nutre la banda de des carga, de donde pasa a la alimentadora para su dosifica- - ción por peso, de aquí, pasa a un tambor secador donde se seca y después se mezcla con el asfalto.

Existen dos tipos de planta de asfalto :

A) Planta de tipo discontinuo

Es el tipo de planta más común y también se le conoce como planta de bachas en donde el control de los materia - les se realiza por peso. La capacidad de estas plantas es tá determinada por la de su mezcladora. Esta se expresa - en libras por bacha.

Al iniciarse la producción de la planta, y antes de que sea transportada la mezcla para ser tendida, es conve niente tomar una muestra y someterla a pruebas completas, para determinar si reúne las características de proyecto, y esta comprobación debe empezar por asegurarse si las tem peraturas a que están siendo calentados los materiales pé treos y el cemento asfáltico son adecuados (el cemento as fáltico se calienta del orden de los 130°C y los materia - les pétreos a 160°C aproximadamente), así como la tempe ratura de salida de la mezcla, la cual debe, corresponder -

al clima del lugar de trabajo y la distancia que deberá acarrear-se debiendo procurarse que su temperatura de tendido sea aproximadamente 120°C.

Toda planta debe operar ajustada a las especificaciones de diseño; por ello no debe rebasarse su capacidad; - la temperatura de los materiales, pétreos y asfálticos, - debe ser uniforme, y la granulometría de los agregados acorde al diseño de la planta.

Para garantizar la curva granulométrica de la mezcla, debe tomarse la precaución, en la misma planta de trituración, de separar el producto triturado por tamaños convenientes. Estos se almacenan por separado, en forma tal que puedan cargarse en las tolvas de alimentación de la planta mezcladora sin que se revuelvan. Las fallas en el abastecimiento de los compartimientos de las tolvas y de los excesos del material calentado y seco, causan desperdicios y generan costos extras.

Una mala mezcla de aire y combustible puede hacer que se forme una película de carbón, envolviendo el material pétreo, lo cual dificulta la adherencia y disminuye la estabilidad, facilitando la disgregación de la mezcla.

Las recomendaciones principales para la correcta operación de una planta de asfalto para mezclas en caliente son:

- a) Alimentación constante y bien graduada.- Para lograr una mejor alimentación, triturado el material se clasifica por tamaños. Los que se depositan cerca de la planta de asfalto en una tolva -- subdividida en tantos compartimientos como tamaños de agregado se tenga. De aquí, por medio de compuertas graduadoras individuales y por medio de una banda transportadora, se llevan los materiales, en la proporción deseada, al elevador de frios y por consiguiente al secador.
- b) Secado uniforme y a una temperatura.- Controlando el volumen de los materiales en función del -- tiempo de alimentación; y controlando la cantidad de calor suministrada por los quemadores, se garantiza que el material salga a temperatura uniforme.
- c) Evitar pérdidas de finos.- Para evitar que a través del tiro de la chimenea se pierdan los finos, éstos se recogen mediante un colector de polvos;-

cuando hacen falta, se añade al agregado, o cemento u otros polvos minerales, utilizándose un elevador adicional.

d) Control estricto del peso de los agregados y del asfalto.- Para este control, las básculas deben revisarse periódicamente. Para mayor seguridad, pueden usarse controles automáticos.

e) Control del tiempo de mezclado.- Debe ser el especificado.

f) Control de temperaturas.- Es muy importante pues cuando las temperaturas de los agregados son menores que las obligadas, la película de asfalto sobre la superficie de los mismos será muy gruesa - y la mezcla presentará dificultad en su manejo. - Si la temperatura de estos es mayor que la del asfalto, éste puede perder fracciones necesarias y modificar sus propiedades.

B) Planta de producción continua.

Este tipo es menos usada que la planta de producción

discontinua o de bachas. En este sistema, las compuertas de las tolvas de material caliente sirven para dosificar adecuadamente los materiales pétreos.

#### Carpeta de mezcla en el lugar

Las capas superficiales de asfalto y agregados mezclados sobre el camino se construyen haciendo pasar los materiales por medio de una planta mezcladora móvil o empleando motoconformadoras. Las mezclas fabricadas de este modo resultan más económicas y de peor calidad que las obtenidas en planta, por que no hay control seguro de la granulometría.

El mezclado con motoconformadoras constituye uno de los métodos más antiguos de construcción de capas asfálticas superficiales, su procedimiento es el siguiente:

Los áridos se colocan sobre el camino en un camellón aplanado, de espesor y anchura uniformes, y se riegan abundantemente con material asfáltico. Para la aplicación de asfaltos se emplean petrolizadoras. La cantidad necesaria de asfalto se reparte en varias aplicaciones iguales; después de cada aplicación de asfalto, los materiales pétreos y este se mezclan removiendo los materiales con

motoconformadora sobre el camino o sobre la zona de mezclado, hasta que el asfalto se ha dispersado uniformemente. Se continúa aplicando asfalto y removiendo la mezcla hasta conseguir el contenido total de asfalto necesario en buen estado de dispersión.

Los materiales asfálticos más adecuados para el mezclado con motoconformadora son los de los tipos FR-2 y FR-3, y la emulsión asfáltica del tipo RM-2. Cuando se emplea emulsión asfáltica suele ser necesario añadir agua a la mezcla para obtener la dispersión adecuada.

Es esencial la ventilación apropiada antes de la compactación. Un contenido insignificante de humedad de la mayor parte de los áridos constituye una ayuda para la mezcla, aunque a veces resulta perjudicial si esta se compacta con más de 2% de humedad. Por ello es necesario que se remuevan lo suficiente estas mezclas después de efectuadas, con el fin de eliminar por evaporación la mayor parte del contenido de disolvente y de humedad. La extensión y compactación de la mezcla no debe realizarse hasta que el contenido de los volátiles se haya reducido a menos del 25% de la cifra original; y el contenido de humedad no debe exceder de 2%.

### 3.- FABRICACION DE CONCRETO

Es indiscutible la importancia que tiene la fabricación del concreto en los pavimentos, porque de su calidad depende la funcionalidad de la obra. Se debe fabricar un concreto que responda adecuadamente a las condiciones a las que se va a someter en el pavimento (tránsito, clima, ataque de sulfatos, etc.) y la economía de producción (disponibilidad de los materiales). Una vez establecidas las características del concreto, se selecciona el sistema de fabricación en base a la disponibilidad del equipo, localización de los bancos de materiales y dimensiones de la obra.

Los sistemas más comunes en la fabricación del concreto son:

- a) Planta central fija.- En donde todos los materiales se acarrean y se almacenan en un punto cercano a una planta premezcladora, que generalmente consiste en dos revolvedoras basculantes, alimentadas por un sistema de dosificación de los materiales cuyo control es muy cuidadoso, otras plantas son exclusivamente dosificadoras. Entregan los

materiales debidamente proporcionados pero sin mezclar.

b) Planta Central Portátil.- Esta planta tiene la mismas características a la anterior, con la ventaja de que es fácilmente desmontable y está equipada para transportarse a diferentes puntos.

c) Equipo móvil.- En este caso todo el equipo de mezclado se va moviendo junto con el frente de construcción. Este sistema recibe los materiales y los va mezclando; cada vez que concluye con una revoltura, la coloca inmediatamente en el lugar donde se construye la losa.

Transporte de concreto. En los dos primeros sistemas de fabricación del concreto, éste requiere una transportación cuyo tipo depende de la longitud de acarreo, de los accesos a la obra y de las condiciones de la mezcla.

a) Para acarreos cortos, accesos libres; el concreto mezclado se transporta con camiones de volteo

b) Para acarreos medios, accesos libres; se puede transportar en camiones de volteo con protección

para prevenir pérdidas de humedad de la mezcla.

- c) Para acarreos largos, con o sin accesos libres y con los ingredientes mezclados o sin mezclar, se transportan en camiones especiales (ollas) que -- mezclan y mantienen en movimiento (agitación) al concreto, hasta el momento de entregarlo a la -- obra.

#### IV.- COLOCACION

## 1.- SUB-BASES Y BASES

Desde el punto de vista de procedimientos de construcción, es indistinto referirse a la sub-base o a la base, pues los procedimientos para construir una y otra son los mismos.

El tendido y afinado de la sub-base y base puede hacerse con cualquiera de los procedimientos siguientes:

- 1.- Por el método tradicional utilizando motoconformadora; este procedimiento se realiza, mediante el uso de motoconformadoras, se esparce el material homogeneizado a lo largo y ancho del camino en el espesor prefijado, inmediatamente después, se compacta dicho material, hasta lograr el porcentaje especificado en el proyecto. Es el procedimiento más barato.
- 2.- Por medio de una extendedora de carpeta asfáltica equipada con control electrónico y dotada de un área de acabado suficiente para extender espesores hasta de 25 cm. Este procedimiento es muy recomendable para sub-bases y bases estabilizadas con cemento, con cal o con emulsión asfáltica, el

Único inconveniente es el gran desgaste de la extendidora, cuando no se maneja un producto asfáltico, hace que este procedimiento resulte caro.

El costo de compactación representa una pequeña parte del costo total de la obra. La compactación tiene una decisiva influencia en la calidad y tiempo de vida de la obra. Una compactación eficiente incrementa sustancialmente el valor soporte y la estabilidad del material, mejora la impermeabilidad en la mayoría de los casos, proporcionando al suelo la capacidad de soportar las cargas del tránsito.

La compactación de los suelos debe ejecutarse de la forma más adecuada, ya que a excepción de unas correctas características de drenaje, es el factor que tiene mayor influencia en las condiciones funcionales de cualquier obra civil, como pueden ser terraplenes, sub-bases, bases y superficies de rodamiento.

La vida útil de una obra en la que interviene la compactación, dependerá en gran parte del grado de compactación especificado, el cual deberá ser estrictamente controlado. Se hace notar que compactar a mayores grados --

del especificado no es conveniente, ya que puede resultar perjudicial al proyecto. La compactación mejora las características de resistencia mecánica, resistencia a los asentamientos bajo cargas futuras, impermeabilidad.

Los materiales friccionantes son principalmente gravas y arenas; entendiéndose por fricción interna a la resistencia al desplazamiento entre partículas internas del material.

Los materiales cohesivos son arcillas y limos arcillosos; cohesión se define como la atracción mutua de las partículas de un suelo debido a fuerzas moleculares y a la presencia de humedad.

Los esfuerzos mecánicos empleados en la compactación son una combinación de uno o más de los siguientes efectos:

1.- Presión Estática.- Es la aplicación de una fuerza por unidad de área, es aplicable a todos los suelos, presentan un bajo rendimiento, excepto en los compactadores neumáticos grandes; (rodillos, metálicos y rodillos neumáticos).

2.- Vibración.- Es el golpeo con una carga de corta duración, alta frecuencia, baja amplitud; es aplicable en suelos no cohesivos (arenas y gravas), y a veces en algunos semicohesivos (arenas limosas). El equipo es un rodillo liso vibratorio.

3.- Impacto.- Es el golpeo de una carga de corta duración, produce un mal acabado, limitándose su uso a las terracerías (rodillo de impacto).

4.- Amasamiento.- Produce una reorientación de partículas próximas, causando una reducción de vacíos, es aplicable a suelos cohesivos y suelos semicohesivos. (Rodillo pata de cabra).

La compactación de sub-base y base se realiza actualmente a base de rodillos vibratorios. El compactador neumático se emplea no por falta de capacidad de producción del compactador vibratorio, sino porque éste no puede orillarse lo suficiente para compactar los hombros del pavimento. El compactador vibratorio autopropulsado cuenta con la tracción suficiente para compactar espesores hasta de 25 cm. lo que hace que el número de capas de pavimento reduzca.

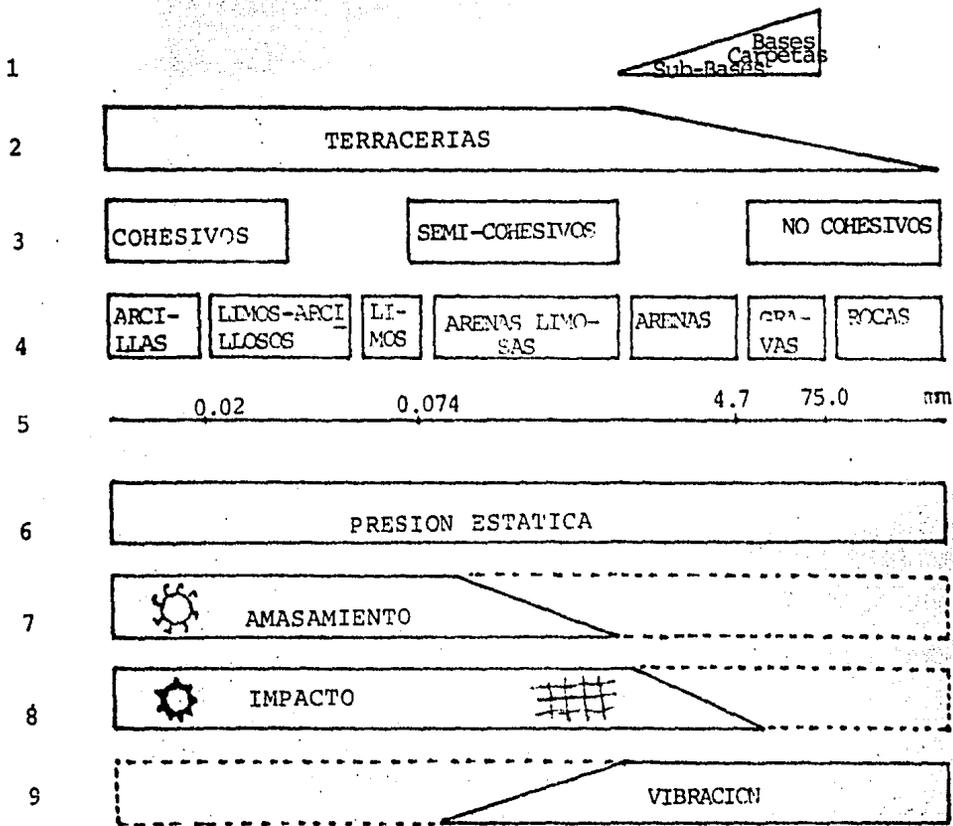


FIG. 4.1.- SELECCION DE EQUIPO DE COMPACTACION

El agua tiene en el proceso compactación, el papel de lubricante entre las partículas del material. Una falta de humedad exigirá mayor esfuerzo compactivo, así como también lo exigirá un exceso de la misma.

Para la obtención de una eficiente compactación es necesario, que haya partículas de varios tamaños en el material por compactar, ya que las partículas de menor tamaño ocuparán los espacios formados entre partículas de mayor tamaño.

La forma de mejorar los elementos mecánicos en un suelo es la compactación. El contenido de humedad del material es el factor de mayor importancia para dar una buena compactación.

El compactador que debe usarse dependerá básicamente del tipo de suelo que se quiere compactar. La selección de compactadores deberá hacerse con mucho cuidado y tratando de hacer intervenir las variables posibles ya que de esto dependerá el éxito económico y funcional de la compactación.

De un buen control depende que la compactación se lleve a cabo correctamente.

## 2.- RIEGO DE IMPREGNACION

Una vez terminadas y aceptadas las sub-bases y bases se procede a la construcción de las carpetas, pero previamente se hacen las operaciones de barrido de base y la -- aplicación de riego de impregnación.

Es conveniente que la base no presente costras de material extraño ni polvo suelto por lo cual se hace el barrido con escobas mecánicas, una vez ejecutado el barrido se procede a la aplicación de un riego de impregnación cuya finalidad es impermeabilizar y estabilizar la base, -- los materiales que se emplean son asfaltos rebajados de -- fraguado medio, transportados en camiones equipados expresamente llamados petrolizadoras, las cuales deben contar con un calentador y una bomba que tenga potencia suficiente para dar presión que produzca una dispersión uniforme en todas las espesas de la barra.

Es recomendable que el riego de impregnación se ejecute en las horas más calurosas del día para facilitar la penetración inicial. El periodo de curado debe ser mínimo de 24 hrs. cerrando el tramo al tránsito hasta que haya penetrado el asfalto, en caso de no poderse cerrar el tramo, 12 hors. después de aplicado el riego, se dará --

uno de arena para evitar que el tránsito deteriore el riego.

La base impregnada no deberá dejarse sin carpeta mucho tiempo, pues se corre el riesgo de que el tránsito deteriore la base impregnada, este tiempo es variable pero no debe exceder de 8 días.

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

a) Asfaltos rebajados de fraguado lento:

FL-0 de 20°C a 30°C

FL-1 de 30°C a 45°C

FL-2 de 25°C a 85°C

FL-3 de 85°C a 95°C

FL-4 de 95°C a 100°C

b) 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

c) 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

d) 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, o cuando la base se encuentre mojada.

### 3.- CARPETAS ASFÁLTICAS

#### 3.1. Carpetas asfálticas por el sistema de riegos

Estas carpetas se usan para tránsito ligero y pueden construirse mediante uno, dos o tres riegos de materiales

Asfálticos cubiertos sucesivamente con capas de materiales pétreos de diferentes tamaños.

Los materiales pétreos que se empleen en la construcción de carpetas asfálticas por el sistema de riegos, se denominarán como sigue:

Material Pétreo	Malla que pasa	Malla donde se detenga.
1	25.4 mm (1")	12.7 mm (1/2")
2	12.7 mm (1/2")	6.3 mm (1/4")
3-A	9.5 mm (3/8)	Núm. 8
3-B	6.3 mm (1/4")	Núm. 8
3-E	9.5 mm (3/8")	Núm. 4

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.

Para eliminar el traslape, las aplicaciones de material asfáltico deben empezar y terminar todas sobre una o más tiras de papel, colocado a través del camino antes de iniciar el trabajo. El borde anterior del papel se coloca de tal forma que coincida exactamente con el borde del material asfáltico aplicado en último lugar, a continua--

ción, la petrolizadora inicia su movimiento hacia adelante, a suficiente distancia detrás del borde anterior de las tiras de papel, para alcanzar la velocidad predeterminada en el momento en que la barra regadora alcanza el papel, de manera que el paso de material asfáltico a través de la barra distribuidora se abre cuando ésta pasa sobre el papel, y el primer material se riega sobre este, se retira el papel y se destruye, obteniéndose así un borde bien definido.

Como las aplicaciones del material asfáltico se terminan sobre una o más tiras de papel, situadas a través del camino, es necesario que el papel se coloque antes del comienzo de la operación. La posición de este se determina calculando la distancia que debería cubrirse por la capa de material asfáltico que lleva la petrolizadora y situando el papel a suficiente distancia por delante de este punto teórico para que al alcanzarlo queden en el tanque de 200 a 300 litros de material. El paso del asfalto se corta cuando la barra llega al papel, al mismo tiempo que se detiene el avance del camión, de modo que todo el material que gotee de la barra caiga sobre el papel; no debe intentarse aplicar toda la carga del distribuidor, porque cuando el material baja demasiado en el tanque, la bomba empieza a aspirar material mezclado con aire y el

caudal deja de ser uniforme.

Inmediatamente después de la aplicación del material asfáltico se extienden los materiales pétreos 3-A o 3-E - por medio de un esparcidor mecánico, con el fin de aprovechar la fluidez del asfalto y obtener la adherencia de la máxima cantidad de pétreos, inmediatamente se procede a apisonar toda la superficie con una sola pasada de un rodillo de llanta metálica; seguidamente se barre la superficie con una sola pasada de una barredora. A continuación se procede al apisonado con rodillo de llanta rígida o de neumáticos, o con una combinación de ambos tipos, -- hasta conseguir una perfecta adherencia de los materiales pétreos con el material asfáltico.

Transcurrido un tiempo no menor de tres días se recolectará mediante barrido y se removerá el material pétreo excedente que no se adhiera al material asfáltico.

La idea general es que las llantas rueden sobre el material pétreo, ya que como el asfalto y el agua no son miscibles, si la llanta rueda directamente sobre el asfalto con el agua se produce una superficie resbalosa.

**Carpeta de dos riegos:**

Las operaciones a ejecutar son:

- a) Se barrerá la base impregnada
- b) Sobre la base superficialmente seca se dará un riego de material asfáltico.
- c) Se cubre el material asfáltico con una capa de material pétreo No. 2
- d) Se rastreará y planchará el material pétreo
- e) Se dará sobre el material pétreo un segundo riego de material asfáltico.
- f) Se cubre este segundo riego con una capa de material 3-B
- g) Se rastreará y planchará el material pétreo
- h) Transcurrido un tiempo no menor de tres días se recolectará y removerá el material pétreo 3-B que no se adhiriera al material asfáltico del segundo riego.

**Carpeta de tres riegos:**

- a) Se barrerá la base impregnada
- b) Se da un riego de material asfáltico (generalmente

FR-3, o emulsiones de rompimiento rápido).

- c) Se cubre el riego con una capa de material pétreo No. 1.
- d) Se rastreará y planchará el material pétreo
- e) Se da sobre el material pétreo un segundo riego de material asfáltico.
- f) Se cubre el segundo riego con una capa de material pétreo No. 2
- g) Se rastrea y plancha el material pétreo
- h) Se da un tercer riego de material asfáltico sobre el material pétreo.
- i) Se cubre el material asfáltico con una capa de material 3-B.
- j) Se rastrea y plancha el material pétreo
- k) Transcurrido un tiempo no menor de tres días se recolectará y removerá el material pétreo excedente que no se adhiera al material asfáltico del tercer riego.

En el proceso de trabajo las carpetas por el sistema de riegos, la aplicación del 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 menor de cuatro días.

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.

Las cantidades de cemento asfáltico y materiales pétreos en  $\text{lt}/\text{m}^2$ , para este tipo de carpetas son las siguientes:

Materiales	Tipos de carpeta		
	Tres Riegos	Dos Riegos	Un Riego
Cemento Asfáltico	0.6-1.1		
Material pétreo No.1	20 - 25		
Cemento Asfáltico	1.0-1.4	0.6-1.1	
Material pétreo No. 2	8 - 12	8 - 12	
Cemento Asfáltico			0.7-1.0
Material Pétreo No.3-A			8 - 10
Cemento Asfáltico	0.7-1.0	0.8-1.1	
Material Pétreo No.3-B	6-8	6-8	
Cemento Asfáltico			0.8-1.0
Material Pétreo No. 3-E			9-11

### 3.2 RIEGO DE LIGA

Este riego se aplica sobre la base impregnada, la cual debe ser barrida para eliminar el polvo y las materias extrañas que pudiese tener.

Los materiales que se utilizan para ello son cementos asfálticos, asfaltos rebajados y emulsiones de rompimiento rápido.

Su aplicación se realiza por medio de una petrolizadora en toda la superficie que cubrirá la carpeta, dejando que transcurra el tiempo necesario para el material asfáltico adquiera la viscosidad adecuada antes de proceder al tendido de ésta.

### 3.3 CARPETA DE MEZCLA EN EL LUGAR

El tendido de la mezcla en el lugar generalmente se realiza con la misma motoconformadora con la cual se mezcló, por lo cual la máquina debe de estar en muy buenas condiciones y el operador debe ser altamente calificado.

El tendido de las mezclas en planta se realiza gene-

ralmente con una extendedora igual a las que tienden la carpeta de mezcla en caliente, y el procedimiento es el mismo.

La compactación de estas mezclas se realiza inmediatamente después del tendido y se pueden usar planchas tandem de dos ruedas o rodillos vibratorios autopropulsados vibrando a alta frecuencia y baja amplitud. Posteriormente se dan unas pasadas con rodillo de neumáticos con objeto de "cerrar" la carpeta, es decir, darle una textura fina y disminuir la permeabilidad de la carpeta.

#### 3.4 CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO

El extendido de la mezcla asfáltica se lleva a cabo con una máquina extendedora-pavimentadora. Consiste ésta de dos partes principales: una es la parte tractiva y otra es una plancha flotante; la unidad tractiva proporciona la fuerza motriz a través de bandas de orugas o de neumáticos que ruedan sobre la base; ésta unidad incluye; la tolva receptora. Los tornillos distribuidores de la mezcla al motor, transmisiones, dos centros de control y el sitio para el operador. La plancha maestra es jalada por la unidad tractiva y consiste de: la placa maestra, vibradores o barra compactadora, controles para variar el espesor

de tendido, controles para variar la pendiente transversal y los calentadores de la placa. A cada lado la plancha maestra tiene un largo brazo que la conectan con la unidad tractiva con un centro de pivote cada uno en el punto de unión. Este mecanismo le permite, a la plancha maestra flotar sobre la mezcla mientras se tiende. La plancha, al recibir la mezcla que reparten los tornillos, la extiende y le aplica una compactación inicial mediante una barra o vibraciones. Al avanzar la unidad de tracción, jala la plancha hacia la mezcla haciendo que la superficie inferior viaje en una dirección paralela al avance de la máquina. La plancha mantendrá este nivel hasta que se cambie el ajuste de los controles correspondientes.

La operación de extendido propiamente se inicia con la colocación en el lugar de la extendedora sobre tacones de madera, de altura igual al espesor suelto que se va a extender; se coloca la plancha maestra y se ajustan los controles para que se mantenga ese nivel. Al avanzar la máquina se revisa el espesor mediante un escantillon. Esta revisión se hace continuamente para modificar la posición de la plancha, si acaso el espesor es mayor o menor que el deseado. Sin embargo, se debe considerar que al girar el control para corregir el espesor, el resultado se logra al haber avanzado de 20 a 30 metros.

También se emplean sistemas electrónicos para mantener la plancha maestra en un nivel de rasante determinado. Su empleo ofrece muchas ventajas en cuanto a la uniformidad de la superficie de rodamiento, esto se debe a que la extendedora llena las depresiones que existen en la base.

La calidad de un trabajo lo califica el usuario; generalmente lo hace por la frecuencia con que se siente o escucha golpes de las llantas de su coche con cada borde -- transversal. Estos bordes se pueden y deben evitar, eliminando las interrupciones en la llegada de los camiones, pues la espera de la extendedora enfría la mezcla que queda bajo su plancha maestra, obstruyendo la uniformidad -- del extendido.

La mejor forma de controlar la continuidad del extendido, es mediante el empleo de un acamellonador y de un levantador de mezcla. El acamellonador es un mecanismo que, mediante ganchos, se pega al camión de volteo. Es una caja de lámina de acero con una puerta ajustable en la que vierte su carga el camión. Al avanzar éste, la puerta va formando un camellón frente a la extendedora. Frente a ésta se instala un levantador de aspas o cangilones que coge la mezcla del camellón y la deposita en la tolva de la extendedora. Las demás operaciones se llevan a cabo de igual forma.

La única alternativa, para seleccionar el equipo de extendido, es el de tracción mediante orugas o mediante neumáticos, la decisión esta en la rapidez de movilidad que se necesite, no para un trabajo en sí, sino para la actividad a que se vaya a dedicar el equipo a largo plazo.

La compactación de mezclas asfálticas se logra fácilmente cuando se lleve a cabo a la temperatura adecuada, ésta debe iniciarse tan pronto como sea posible después de extendida la mezcla. El espesor de la carpeta influye en el grado de dificultad para compactarla; entre más delgado sea el espesor, más pronto pierde la temperatura y por lo tanto su compactación debe efectuarse inmediatamente después del extendido: por lo contrario, si el espesor es de 7 cm. o más, la pérdida de temperatura es más tardada, proporcionando mayor tiempo para compactar. La operación de compactación se puede dividir en tres fases:

1.- Planchado inicial.- Durante esta fase se debe lograr casi totalmente la compactación; el equipo utilizado es la plancha de ejes en tandem y la plancha metálica de tres llantas.

2.- Planchado intermedio.- Se desarrolla mientras la mezcla asfáltica mantiene algo de su plasticidad y tem

peratura; el equipo que se emplea son rodillos de neumáticos, ya que, tienden a "cerrar" la superficie, por lo cual contribuyen a la impermeabilidad de la carpeta y acomodan las partículas de los agregados por lo que aumentan la estabilidad.

3.- Planchado final.- Su única finalidad consiste en borrar las huellas del equipo que trabajó en las fases anteriores, el equipo que se emplea son las planchas de ejes en tandem.

Uno de los principales requisitos para que una carpeta se comporte satisfactoriamente y tenga una larga vida, es el grado de compactación que se le da.

#### 4.- RIEGO DE SELLO

La finalidad que se persigue al aplicar este riego es la de proporcionar una superficie antiderrapante, impermeabilizar la carpeta asfáltica y protegerla del desgaste. Su colocación es idéntica a la carpeta asfáltica de un riego.

#### 5.- LOSAS DE CONCRETO

Antes de iniciar el trabajo de losas de concreto de

berán hacerse los ajustes en niveles de la sub-base, si es que no se encuentra dentro de las tolerancias que marcan las especificaciones, tales como el recorte o la adición de material o la reconstrucción de las zonas defectuosas.

Es muy importante la conformación y el acabado superficial de la sub-base, porque de ellos depende el buen desempeño de la losa de concreto. La sub-base debe de tener el bombeo que superficialmente tendrá la losa para conservar un espesor constante de la misma y las ondulaciones e irregularidades de la superficie no deberán ser mayores de 1 cm.

El curado que se le debe dar a la sub-base será a base de un riego de impregnación; antes de colocar el concreto, dicha capa se humedecerá uniformemente, evitándose la formación de charcos.

Equipos de colocación, compactación y terminación

Pueden dividirse en dos grupos:

a) Equipos de cimbra deslizante

Se están empleando equipos de colocación, compacta-

ción, enrase y flotación, a todo lo ancho del pavimento, con cimbras deslizantes e insertadores de barras de sujeción y bandas plásticas para formar las ranuras de las juntas longitudinales, todo ésto en una sola unidad, su alineamiento y nivelación se controlan electrónicamente, para emplear este equipo. La sub-base deberá estar dentro de las especificaciones en cuanto a nivel y compactación, además se tendrán que dejar 60 cm más a cada lado del pavimento para apoyar los carriles del equipo de tendido.

El concreto que se suministre deberá tener una calidad uniforme con el más bajo revenimiento que permita trabajarlo. La operación con este equipo ahorra obra de mano, facilita la supervisión y la calidad del trabajo.

#### b) Equipos con cimbra fija

Cuando se emplea este tipo de cimbra, el ajuste de los niveles de la sub-base puede hacerse montando el equipo de recorte sobre las formas que han sido alineadas y niveladas previamente o hacerlo manualmente.

La cimbra se coloca previamente alineándola y nivelándola, sirve de apoyo al equipo de colocación y vibrado y terminación final. También es posible adaptar los equipos de cimbra deslizante al sistema de cimbra fija.

El equipo de tendido y compactado debe tener la amplitud suficiente para trabajar en anchos de 5 a 6 metros, contando al frente con un extendedor de concreto que lo acomoda a un nivel adecuado para su compactación por vibrado, debe contar también con una batería de vibrado, de alta frecuencia para el vibrado profundo, la operación de sumergir y emerger los vibradores se hará por medio de controles hidráulicos.

Las cimbras deberán permanecer en su lugar cuando menos ocho horas después del colado.

El tiempo máximo entre la colocación de dos batchadas será de cuarenta y cinco minutos, rebasado este límite se deberá formar una junta de construcción.

Los métodos de curado para los pavimentos de concreto son:

a) Por asperción.- Después de un tiempo, suficiente

para que se endurezca la superficie del concreto y no se dañen los acabados, se protege la superficie con telas, con arena o con hierbas, acompañada de una aspersión de agua a intervalos regulares, para mantener constantemente húmeda dicha superficie cuando menos durante los primeros siete días.

Este método no es muy práctico cuando la producción diaria es muy grande, porque se tendrá que contar con una cantidad considerable de material para cubrir la superficie.

b) Con membranas.- Después de los acabados superficiales se aplica una membrana (pintura) en la superficie del concreto para impermeabilizarla. El agua dentro de la mezcla, es suficiente para hidratar al cemento de manera adecuada, basta impermeabilizar la superficie, para evitar pérdidas por evaporación o desecamiento y darle un curado conveniente. Se recomienda que las membranas sean de color claro, con el fin de reflejar los rayos del sol; además es fácil controlar la uniformidad de su aplicación. Este método se emplea mucho en éste tipo de pavimentos, por la rapidez de aplicación.

La superficie del concreto, una vez endurecido este,

deberá ser resistente al deslizamiento de los vehículos, lo cual se adquiere, dándole a la superficie un acabado rugoso con:

- a) Escobillas
- b) Arrastrando costales
- c) Con algún equipo especial

Es recomendable que el acabado rugoso se le proporcione a la superficie, cuando ésta ha perdido el brillo normal que le dejan las operaciones de flotación y enrase.

Los planos del diseño de juntas darán las características del refuerzo y su colocación (separación entre varillas y profundidad). La colocación del refuerzo se puede hacer:

- a) Con caballetes o monturas que mantengan el nivel, a la separación y al alineamiento de acuerdo al proyecto.
- b) Con las cimbras
- c) Insertadas durante la colocación y compactación de la losa de concreto, por medio de discos que

van colocando a la separación, al nivel y alineamiento deseados. . .

El primer método se emplea para las juntas transversales y algunas veces longitudinales, donde la junta se va a ranurar. El segundo, en las juntas longitudinales y en las transversales de construcción. El último, en las juntas longitudinales, cuando el sistema de colado se hace a todo lo ancho del pavimento.

Las juntas se deben sellar tan pronto como sea posible, procurando que la ranura esté limpia y seca. La limpieza consiste en extraer todos los materiales incompresibles que puedan haber caído antes de sellarse la junta, - las paredes de la ranura deberán estar sin polvo para una mejor adherencia del sello. Por medio de un raspado con un cepillo y un sopleteado con aire, se limpia perfectamente la ranura.

V. - P R U E B A S

Para valorizar la calidad de los materiales que forman las diferentes capas de los pavimentos se han desarrollado varias pruebas que pretenden expresar la calidad de los mismos en cuanto a su empleo, como materiales de construcción y en relación con sus distintas características.

A continuación, se bosquejan brevemente algunas de las pruebas a que se someten los materiales que van a formar parte de las diferentes capas que constituyen a un pavimento. Todas estas pruebas se pueden encontrar con todo detalle en el Tomo IX de las Normas de Construcción editado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

#### 1.- HUMEDAD OPTIMA Y PESO VOLUMETRICO SECO MAXIMO

A una muestra preparada se le incorpora una cantidad de agua conocida y se homogeniza, con el material se llena en tres capas, un molde metálico de 6" de diámetro por 8" de altura con el fondo perforado. Cada capa se pica 25 veces con una varilla de 5/8" de diámetro por 30 cm. de longitud con punta de bala; sobre la última capa se coloca una placa circular ligeramente menor que el diámetro

interior del cilindro, y se mete el molde en una prensa de 30 toneladas; se le aplica una carga gradualmente de tal manera que en cinco minutos se alcance una presión de  $140.6 \text{ Kg/cm}^2$ , lo cual debe mantenerse durante un minuto, e inmediatamente se descarga en forma gradual durante un minuto.

Si al llegar a la carga máxima no se humedece la base del molde, la humedad ensayada es inferior a la óptima. Para cada contenido de humedad se determina el peso volumétrico seco y se grafican los resultados; se prosigue por tanteos hasta que la base del molde se humedezca al alcanzar la carga máxima. La humedad de esta prueba es la humedad óptima. Se determina entonces el peso volumétrico seco de la muestra dentro del cilindro, a este peso se le conoce como el "Peso Volumétrico seco Máximo Porter", y que será el peso comparativo para el trabajo de campo.

## 2.- CONTRACCION LINEAL

Es la disminución de una dimensión de la masa del suelo expresada como porcentaje de la dimensión original cuando su cantidad de humedad se reduce desde una cantidad igual a la humedad del límite líquido hasta el límite de

contracción del mismo (mat. seco al horno).

Es importante esta prueba, ya que nos indica indirectamente el contenido de arcilla, ya que la presencia de ésta en el material pétreo para carpetas asfálticas afecta provocando una baja adherencia del asfalto, así como el debilitamiento de la carpeta en presencia del agua.

La contracción lineal es función de la plasticidad del suelo, siendo nula para los suelos de características arenosas y aumentando a medida que el suelo es más plástico provocando cambios volumétricos que perjudican grandemente la estabilidad de un suelo, ya que en tiempos de estiaje cuando disminuye la humedad, las contracciones que sufre el material provocan la formación de grietas permitiendo el paso del agua durante la temporada de lluvias, disminuyendo el poder soportante de los suelos, llegando a provocar fallas.

### 3.- EQUIVALENTE DE ARENA

Este ensayo indica la proporción de polvo fino o materiales arcillosos perjudiciales contenidos en los agre

gados. El ensayo se aplica a la fracción que pasa por la malla No. 4.

El procedimiento es el siguiente:

Se coloca una muestra del agregado en estudio en un cilindro graduado transparente que contiene una solución de cloruro cálcico (solución floculante que acelera la sedimentación de los finos), glicerina, formaldehído en agua. El agregado y la solución se agitan vigorosamente de una forma normalizada. Se deja sedimentar y después de un período de sedimentación de 20 minutos, se lee en la graduación del recipiente la altura máxima de la suspensión de arcilla. A continuación se introduce en el cilindro un disco pesado de metal que se hace bajar hasta que descansa sobre la parte superior de la arena limpia y se lee la altura de la superficie inferior del disco. Se llama equivalente de arena a la relación de la lectura correspondiente a la superficie superior de la arena a la correspondiente a la capa superior de la arcilla multiplicada por cien.

#### 4.- DESGASTE

La determinación de este valor, tiene por objeto co-

nocer la calidad del material pétreo en cuanto a su resistencia al tránsito y es medida indirecta del grado de alteración alcanzado por este, así como la presencia de planos de debilitamiento que prevean una desintegración de la partícula del material, igualmente da una idea de la presencia de partículas en forma de laja o agujas cuyos agregados sufren un fuerte desgaste. Es obvio que ésta prueba indica relativamente el grado de dureza del material. Para la realización de esta prueba se emplea la máquina de los Angeles, la cual consiste en un cilindro de acero de 28" de diámetro y 20" de longitud; su ejecución se realiza de la siguiente manera:

La muestra a ensayar se lava para eliminar el polvo que contenga adherido luego se seca en el horno, después se criba a través de las mallas de 3", 2<sup>1/2</sup>", 2" 1<sup>1/2</sup>", 1", 3/4, 1/2". Número 4 Núm. 8 y Núm. 12 para conocer su graduación. La muestra seleccionada se pesa ( $P_i$ ) y se coloca dentro de la máquina junto con un agente abrasivo, compuesto de pequeñas esferas de acero y se hace girar ésta, hasta completar las revoluciones especificadas. Se saca la muestra de la máquina y se lava a través de la malla Núm. 12 secando el retenido de esta en un horno y se pesa ( $p_f$ ). La pérdida de desgaste se determinará empleando la siguiente expresión.

$$\text{Porcentaje de desgaste} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

#### 5.- VALOR CEMENTANTE

Esta prueba tiene por objeto determinar el poder de cementación de un suelo fino o de la fracción que pasa la malla No. 4 de un suelo granular compactado y seco. El valor cementante es una función de la forma y acomodo de las partículas de suelo y su rugosidad, de la plasticidad de los finos y de otros fenómenos que tienen relación con la composición química del suelo. Es un factor primordial para prever el comportamiento de los suelos que forman el pavimento de un camino, para realizar la prueba se sigue el procedimiento siguiente:

El material se tamizará a través de la malla No. 4 para obtener una muestra de unos tres kilogramos, se le adiciona agua hasta alcanzar la humedad óptima de compactación y se manipulará hasta lograr una repartición uniforme de la misma. Se toman muestras para efectuar la prueba por triplicado, debiendo tener los tres ensayos la misma altura, para esto deberá emplearse la misma cantidad en peso de material húmedo para elaborar cada ensayo. Se compacta el material en tres capas para formar una muestra

de forma cúbica, apisonando con 15 golpes de varilla y a una altura libre de caída de 50 cm para cada capa. El molde debe descansar sobre un apoyo firme al hacer el apisonado. El molde con el material compactado se colocará en el horno a una temperatura de 40°C y se mantendrá en este último hasta que se pierda la suficiente humedad para permitir la remoción del molde. Se continúa el secado a una temperatura de 110°C hasta que se pierda toda la humedad. Se saca la muestra del horno, se deja enfriar, y se prueba la compresión colocando unas placas de cartón sobre la cara superior e inferior de la muestra o bien se procede a cabecear los cubos con azufre o una mezcla de arena y yeso, dejando las caras paralelas, conservando la posición en que fue compactado.

El valor cementante es el promedio de la resistencia a la compresión sin confinar obtenida en los tres especímenes y se expresa en  $\text{Kg/cm}^2$ . Si uno de los valores de resistencia discrepa mucho de los otros dos se desecha para el cálculo.

Esta prueba es fundamental para juzgar la calidad de los materiales que se utilicen en la construcción de subbases o bases de pavimento, debiendo satisfacerse los valores mínimos de las normas de construcción.

## 6.- PRUEBA ESTANDAR DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE

El objeto de esta prueba es determinar la calidad de los suelos en cuanto a valor de soporte se refiere, midiendo la resistencia a la penetración del suelo compactado y sujeto a un período de saturación; consiste en medir la resistencia a la penetración de una muestra compactada a la humedad óptima con una carga unitaria de  $140.6 \text{ Kg/cm}^2$ , aplicada con la máquina de compresión, después de haber sido saturada en agua hasta lograr su máxima expansión. El procedimiento es el siguiente:

A la muestra correspondiente a las condiciones de peso volumétrico seco máximo y humedad óptima, se le coloca papel filtro en la cara superior, sobre éste se coloca una placa perforada y dos placas de carga; sobre el molde de la placa se coloca un extensómetro y se ajusta a la lectura a cero; se coloca el cilindro con la muestra compactada, junto con el disco perforado y las placas dentro de un recipiente con agua durante cuatro días, haciéndose lecturas diarias del extensómetro. Cuando se observe que cesa la expansión deberá anotarse la lectura final del extensómetro y se retirará del tanque el molde con la muestra, para sujetar ésta a la prueba de penetración.

La diferencia de lecturas final e inicial del extensómetro, expresada en mm., se dividirá entre la altura en mm de la muestra, antes de sujetarla a la saturación, este cociente multiplicado por cien expresa el valor de la expansión. Los materiales que se pretendan usar con sub-base no deben tener expansión mayor del 2% y los de bases no deben tener expansiones mayores del 1%.

Después de saturada la muestra, se saca el molde del agua, inclinándose el cilindro para que escurra el agua. Se aplica una carga inicial menor de 10 Kg e inmediatamente después, sin retirar la carga, se ajustará el extensómetro para registrar el desplazamiento vertical del cilindro. Se procede a la aplicación de cargas en pequeños incrementos continuos, procurando que la velocidad de desplazamiento del cilindro sea 1.25 mm/min y se anotaran las cargas correspondientes a cada una de las penetraciones. Una vez terminada la prueba, la carga registrada para la penetración de 2.54 mm se deberá expresar como porcentaje de la carga estándar de 1360 Kg y, el porcentaje así obtenido es el valor relativo de soporte correspondiente a la muestra ensayada.

## 7.- GRANULOMETRIA

### a) SUB-BASE Y BASE

La curva granulométrica del material pétreo que se emplea para formar estas capas debe, quedar comprendida en las zonas 1, 2 ó 3 de la figura 5.1; teniendo además, una forma semejante a los trazos que marcan esas zonas, sin cambios bruscos de curvatura; la relación del porcentaje, en peso que pase la malla Núm. 200 al que pase la Núm. 4 no deberá ser mayor de 0.65. El tamaño máximo del agregado que constituirá la sub-base no deberá ser mayor de 5 mm (2"),

La granulometría del material para base, se recomienda generalmente que se localice en las zonas 1 y 2, aceptándose sólo en casos especiales la zona 3. El tamaño máximo del material que ha sido cribado o triturado es de 38 mm (1 1/2").

CAPA	SUB-BASE			BASE		
	1	2	3	1	2	3
ZONAS DE LA CURVA						
1.-Contracci6n lineal	6%M6x.	4.5%M6x.	3%M6x.	4.5%M6x.	3.5%M6x	2.0%M6x.
2.- Valor comentante pa ra materiales 6ngu- los (Kg/cm <sup>2</sup> )	3.5M6n.	3 M6n	2.5M6n.	4.6M6n	3.5M6n	2.5M6n
Valor cementante pa- 3.-ra (Kg/cm <sup>2</sup> ) materia- les lisos % redondea dos	5.5M6n	4.5M6n	3.5M6n	7.0M6n	5.0M6n	4.0M6n
4.-Equivalente de arena	20%M6n	20%M6n.	20%M6n	30%M6n	30%M6n	30%M6n

VALOR RELATIVO DE S6PORTE	CLASIFICACION
30 - 50	SUB-BASE BUENA
50 - 80	BASE BUENA
80 -100	BASE MUY BUENA

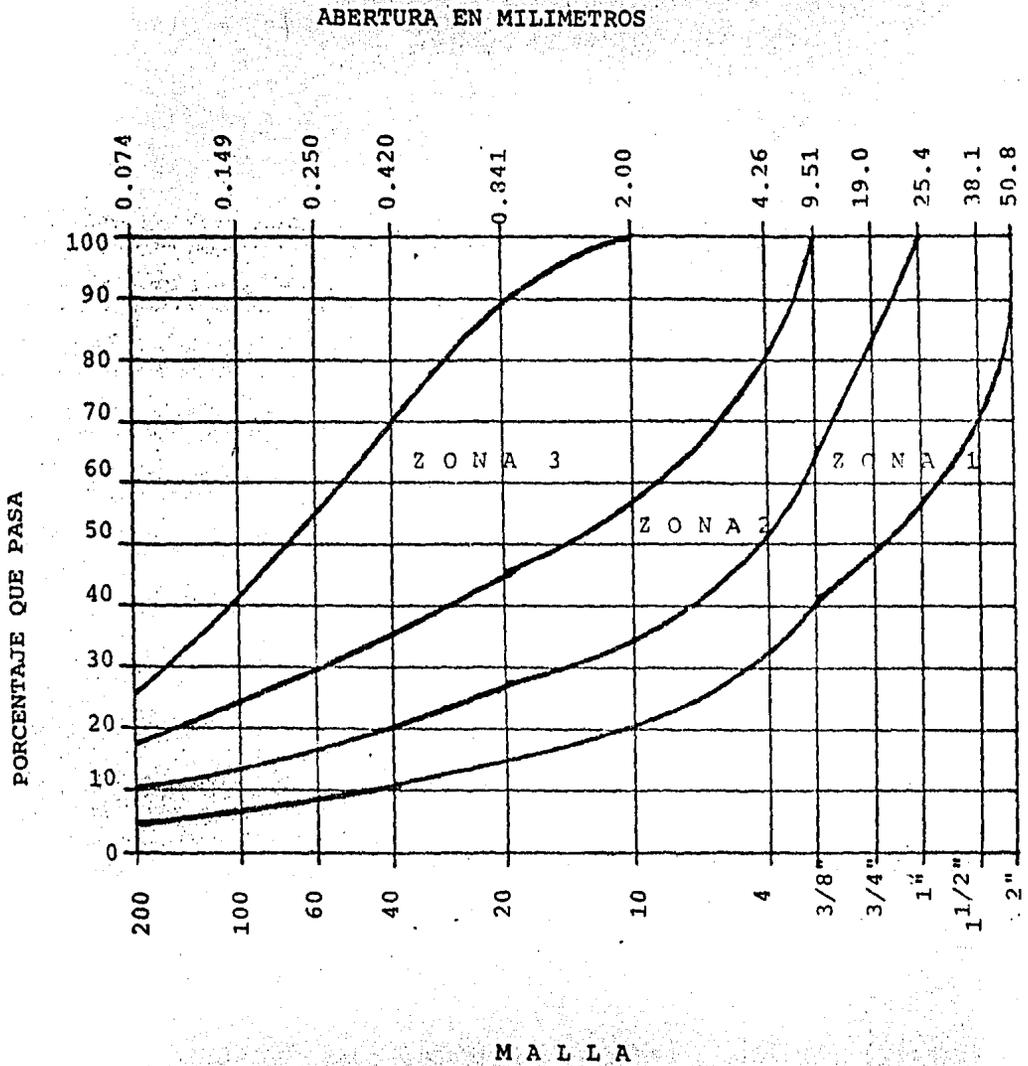


FIG. 5.1.- CURVA GRANULOMETRICA PARA BASES Y SUB-BASES

## b) CARPETA

La curva granulométrica del material pétreo para mezclas en el lugar, deberá quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el límite superior de la zona-2, de la figura 5.2. La zona 1, corresponde a los materiales pétreos de granulometría fina. La granulometría del agregado pétreo deberá afectar una forma semejante a las dos terceras partes de su longitud, sin presentar cambios bruscos de pendiente.

## 8.- AFINIDAD CON EL ASFALTO

Esta prueba tiene por objeto el conocer si el material pétreo que se pretende emplear en la elaboración de carpetas es de características hidrofílicas o hidrofóbicas. - Se dice que un material es hidrofílico cuando tiene más afinidad por el agua que por el asfalto, e hidrofóbico en caso contrario. Si un material empleado para formar carpeta asfáltica es hidrofílico, dicho material atraerá el agua y desalojará a la película de asfalto que lo recubre y por lo tanto queda destruída la adherencia existente entre el agregado y el asfalto y por ende se presentará la falla de la carpeta por la pérdida de estabilidad al separarse el asfalto.

ABERTURA EN MILIMETROS

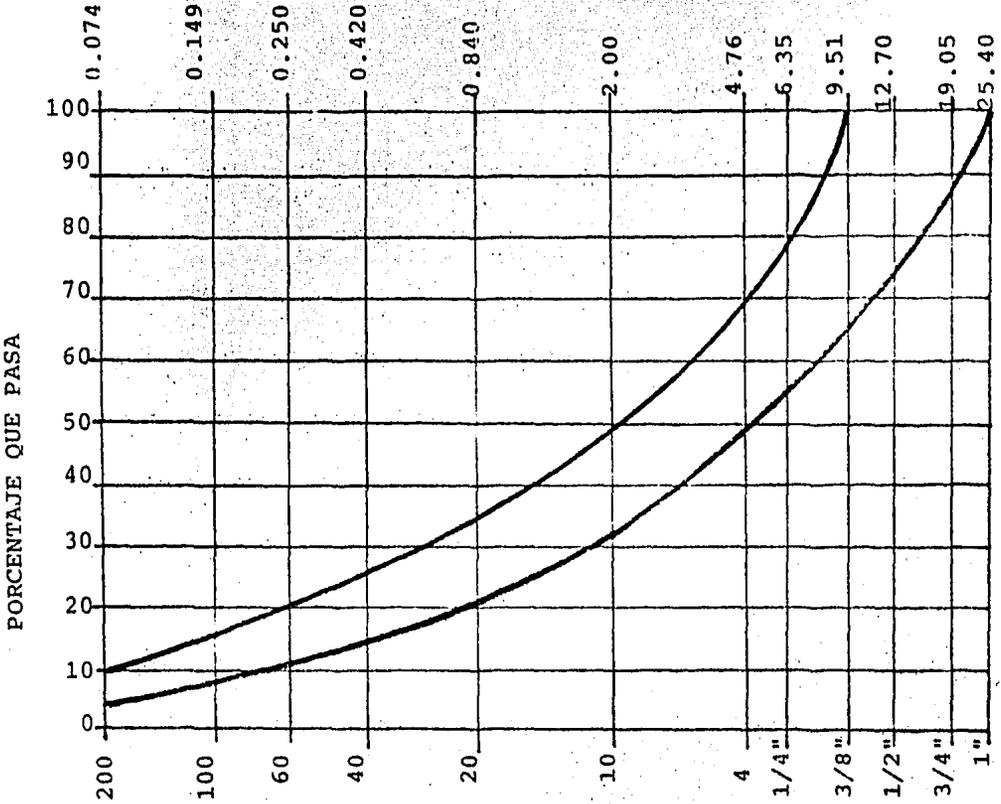
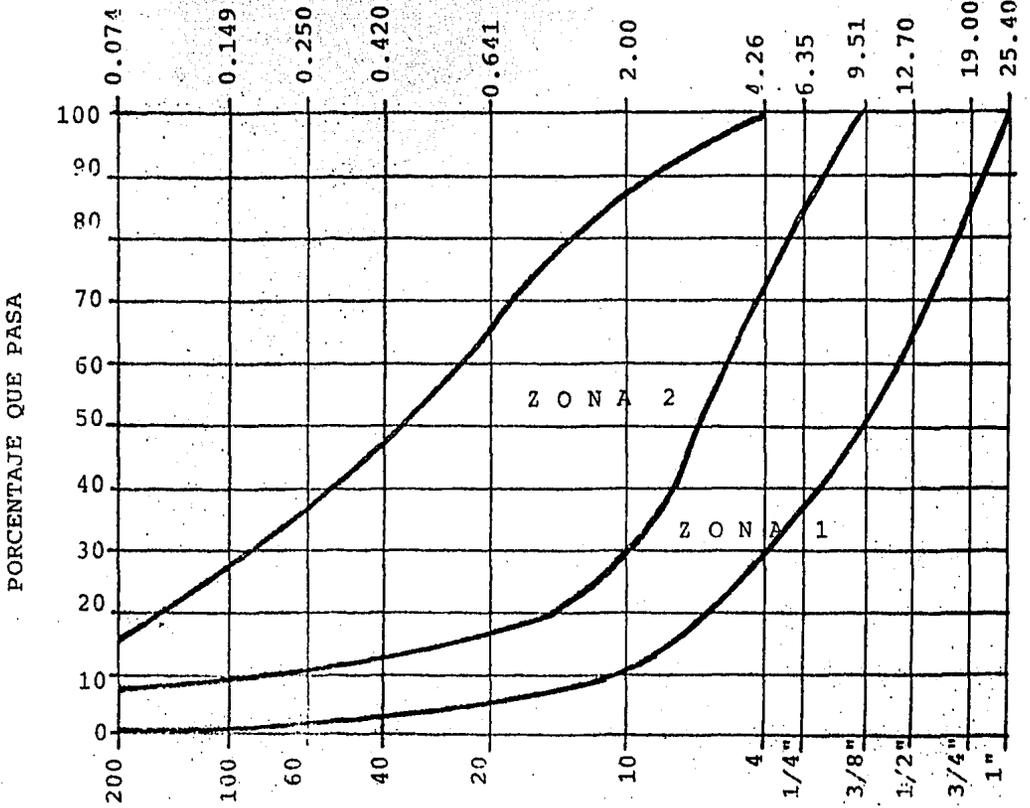


FIG.5.2.- GRANULOMETRIA PARA CONCRETOS ASFALTICOS

ABERTURA EN MILIMETROS



MALLA

FIG. 5.2.- GRANULOMETRIA PARA MEZCLAS EN EL LUGAR

La falta de adherencia del asfalto con el material pétreo puede presentarse por la presencia de una película fina de polvo adherido al material pétreo o debido a las características hidrofílicas del material, las cuales pueden ser modificadas empleando agentes químicos con lo cual se mejora mucho la adherencia del material con el asfalto.

Para conocer si un material tiene una buena o mala adherencia con un determinado asfalto, debe ejecutarse la prueba de desprendimiento por fricción. El procedimiento consiste en verificar por duplicado esta prueba, tomando como testigo un material que haya comprobado tener buena afinidad con el asfalto.

De la mezcla preparada en las mismas condiciones como se va a emplear en la obra, se toman unos 300 gramos y se colocan en un frasco de vidrio y se les agrega agua hasta cubrir dicha mezcla, dejándola en reposo durante 24 horas. Si después de este tiempo el desprendimiento del asfalto del agregado es de consideración, el material puede clasificarse altamente hidrofílico.

Si no ha ocurrido un desprendimiento apreciable de la película de asfalto, el frasco con su contenido deberá agitarse vigorosamente por tres periodos de cinco minutos.

cada uno, debiendo examinarse la mezcla dentro del frasco después de cada agitada, si no se nota un desprendimiento de asfalto al terminar el tercer período de agitación, o que haya habido un desprendimiento ligero comparada al testigo, puede considerarse como adherencia normal con el asfalto. En caso contrario, se dirá que el material tiene adherencia regular o baja, según sea el desprendimiento - ocurrido del asfalto siendo necesario aumentar dicha adherencia, ya sea empleando un adiconante, o tratando de ver si dicha adherencia se mejora cambiando el tipo de asfalto, triturando material a un tamaño menor o lavando el -- agregado pétreo.

#### 9.- PERDIDA POR INTEMPERISMO ACELERADO

Este ensayo determina la resistencia a la desintegración de los agregados pétreos. Se realiza cuando no se cuenta con información adecuada del comportamiento del material expuesto a las condiciones del intemperismo existes en la región o bien cuando se tengan dudas acerca de la calidad del material que pretenda emplearse en la - elaboración de carpetas asfálticas.

En el laboratorio, se le añade al material pétreo se

co y con cierta granulometría, sulfato de sodio o magnesio, para lograr una alteración similar a la que ocasionan los efectos atmosféricos; la muestra se deja saturar por espacio de 16 a 18 horas a temperatura de 21°C y se secará en un horno, repitiéndose este proceso de saturación y secado cinco veces y al terminar el último, se lavará la muestra hasta eliminar todo el sulfato de sodio o magnesio y se secará hasta peso constante.

Cada muestra se cribará sobre malla inferior y se anotará el peso del material retenido; la diferencia de este peso original, expresada como porcentaje de este último, representará la pérdida por intemperismo de cada tamaño en sayado.

#### 10.- PRUEBA MARSHALL

Se aplica a mezclas asfálticas elaboradas en planta con cemento asfáltico; en ella se determinan los valores de estabilidad y de flujo. El valor de estabilidad se determina midiendo la carga necesaria para producir la falla de un espécimen cilíndrico compactado. La deformación vertical producida en éste por dicha carga será el valor de flujo. El valor de estabilidad expresa la resistencia

estructural de la mezcla compactada, y esta afectado principalmente por el contenido de asfalto, la composición granulométrica y tipo del agregado. Principalmente el valor de estabilidad es un índice de la calidad del agregado. El valor de flujo representa la deformación requerida, en el sentido del diámetro del espécimen, para producir su fractura. Este valor es una indicación de la tendencia de la mezcla para alcanzar su condición plástica, y consecuentemente de la resistencia que ofrecerá la carpeta a deformarse bajo la acción de las cargas impuestas por vehículos.

Fijada la granulometría de la mezcla asfáltica, se determina el porcentaje en peso de los tamaños en que ha sido separado el material pétreo (1/2", 1/4", Núm. 10 y Núm. 40). Para cada contenido de asfalto se fabricarán 3 especímenes, cada uno de los cuales requiere aproximadamente 1200 gramos de agregado pétreo. Se tomará de cada uno de los tamaños mencionados la cantidad de muestra que resulte de multiplicar el porcentaje en peso de cada fracción por el peso total de la muestra. Las fracciones ya pesadas se mezclarán previamente a la adición de cemento asfáltico. La cantidad de cemento asfáltico que deberá agregarse a cada muestra, se calculará sobre la base del contenido mínimo de asfalto que se determina mediante el em

pleo de fórmulas empíricas, etc.

El contenido de asfalto que se considera como óptimo es aquel que produce la mejor combinación de resistencia estructural y durabilidad en la carpeta. La película de asfalto al ir aumentando el espesor, actúa principalmente como lubricante perdiendo considerablemente su poder ligante, mediante lo cual la carpeta va perdiendo resistencia y se provocan deformaciones o desplazamientos perjudiciales al paso de los vehículos.

A cada una de las muestras de material pétreo se incorpora la cantidad calculada de producto asfáltico, más un pequeño exceso correspondiente al producto que quede adherido a la charola, que puede llegar a ser de (0.5%) de producto, después se mezcla y se cura.

La compactación de los especímenes que se llevará a cabo por cualquiera de estos dos procedimientos: con carga estática o por medio de impactos. Se puede decir que la compactación con carga estática no es adecuada para materiales angulosos de difícil acomodo, para los cuales se recomienda la compactación por impactos. Para decir cual método es el que debe ser utilizado, deberán compactarse por ambos procedimientos dos muestras elaboradas

das con el contenido de asfalto calculado y elegir aquel que de especímenes con mayor peso volumétrico y menor número de partículas fracturadas.

Inmediatamente después de terminada la mezcla, se procederá a su compactación, utilizando el molde que le corresponda de acuerdo con el tamaño máximo del agregado. Se colocará el material en el molde, previamente calentado, en tres capas de igual espesor, dando a cada capa un picado de 25 golpes de varilla para facilitar el acomodo del material.

a) Si es compactación estática se procede a aplicar con la máquina de compresión una carga que corresponda a la presión de  $40 \text{ Kg/cm}^2$ . La carga deberá aplicarse lentamente, en forma continua y una vez alcanzada la presión especificada se mantendrá ésta por un período de 2 minutos. Se deja enfriar el espécimen en el molde, se extrae de éste, y se dejará transcurrir el tiempo necesario para que adquiera la temperatura ambiente, con objeto de probar todos los especímenes a una misma temperatura.

b) Si es compactación por impacto cada capa se compacta con 25 golpes de pisón, siendo la altura de caída



con estos datos, se formará una gráfica, en cuyas ordena  
das se anotarán las resistencias obtenidas y en cuyas abs  
cisas se anotarán los contenidos de asfalto expresados so  
bre la base de cemento asfáltico. El contenido óptimo se  
localiza dentro de la rama ascendente de la curva corres-  
pondiente al 2o. máximo.

#### 11.- PERMEABILIDAD DE CARPETAS

Esta prueba tiene gran importancia ya que sus resulta-  
dos indican si existe la posibilidad de que el agua pro-  
veniente de las lluvias o escurrimientos superficiales pe  
netre a través de las grietas o intersticios que presenta  
la carpeta asfáltica, provocando un humedecimiento de la  
base de pavimento, con el consiguiente descenso del poder  
de soporte de esta última, o bien un desprendimiento de -  
la película de asfalto en el interior de la carpeta, cuan  
do los materiales que la forman presentan características  
hidrófilas.

En el sitio escogido para hacer la prueba, se coloca-  
rá sobre la carpeta un anillo de lámina. Entre la pared  
exterior del anillo y la carpeta se coloca un cordón de  
2 cm. de diámetro del material que va a ser empleado pa-

ra sellar (parafina, cemento asfáltico, etc) y se presionará con los dedos para sellar los huecos que quedan entre el anillo y la carpeta y se impidan las fugas del agua que se vaciará posteriormente dentro del anillo.

En el centro del depósito se colocará un cono metálico y se vaciará el agua hasta el nivel marcado por el vértice del cono. Una vez lleno el depósito hasta la altura indicada, se agregará agua de una probeta graduada para compensar la pérdida habida por filtración, en la cantidad necesaria para mantener constante el nivel por un período de 10 minutos, que se contarán a partir del momento en que se alcanza por primera vez la altura especificada. El volumen total del agua que se filtra a través de la carpeta, expresado como porcentaje del volumen del depósito, representará el índice de permeabilidad de la carpeta, el cual no debe ser mayor de 10.

$$\text{Índice de permeabilidad} = \frac{V_f}{V_t} \times 100$$

$V_f$  = Volumen filtrado durante el tiempo de prueba de 10 minutos.

$V_t$  = Volumen total del depósito = 1247 cm<sup>3</sup>

## 12.- REVENIMIENTO

El procedimiento que se sigue en el campo y en el laboratorio para el desarrollo de esta prueba es el siguiente:

Las muestras de concreto se deberán tomar en la mezcladora, o, en el caso de concreto premezclado, durante la descarga del vehículo transportador; las cuales deberán ser representativas de la revoltura completa; se deben obtener pasando repetidamente un cucharón a través del material que se este descargando, empezando la operación hasta que se descargue toda la revoltura del concreto. Deben tomarse cuando menos cinco muestras de diferentes porciones. El molde debe humedecerse y colocarse sobre una superficie plana, húmeda. Se procede a llenar inmediatamente el molde, en tres capas, cada una de aproximadamente un tercio del volumen del molde. Al vaciar cada cucharón de concreto se le debe mover alrededor del borde superior del molde a fin de asegurar una distribución simétrica del concreto dentro del mismo. Cada capa se debe compactar con 25 golpes de varilla, los cuales se distribuirán uniformemente en toda la sección del molde y deben penetrar a la capa colocada previamente, la del fondo se debe compactar en toda su profundidad; una vez compactada la capa superior, se procede a enrasar la superficie

del concreto, procediéndose después a quitar el molde, levantándolo cuidadosamente en dirección vertical. En seguida, se debe de medir el revenimiento, determinando la diferencia entre la altura del molde y la altura del espécimen en su eje. El resultado se debe reportar en centímetros.

Revenimiento = 30.5cm - altura (cm) después del asentamiento

Una vez terminado de medir el revenimiento, se golpea suavemente el cono de concreto con la varilla. El comportamiento del concreto bajo este tratamiento dará una indicación valiosa de la cohesión, trabajabilidad y colocación de la muestra. Una mezcla bien proporcionada y trabajable se reviene gradualmente y retiene su forma original, mientras que una mala se desmorona, se segrega y disgrega.

### 13.- PRUEBA DE RESISTENCIA A LA FLEXION

- Con carga en los tercios

En la realización de esta prueba se emplea una viga

libremente apoyada, se emplean bloques de apoyo que aseguran que únicamente se apliquen a la viga fuerzas verticales y sin excentricidad. La figura 5.4 muestra el diagrama de un aparato que permita obtener este resultado. Durante la prueba, la dirección de las reacciones deberá ser siempre paralela a la dirección de la carga aplicada mediante el uso de articulaciones, apoyos de oscilación o placas de flexión. La excentricidad se evita con el uso de cojinetes esféricos.

La muestra deberá tener un claro de por lo menos de tres veces el peralte, al ser ensayada. Los bloques de aplicación de carga se deberán poner en contacto con la superficie superior en los tercios del claro. Si no se obtiene un contacto completo entre el espécimen y los bloques de aplicación de carga y los apoyos, debido a que las superficies de la viga no son planas, la superficie de ésta, en donde estén en contacto con los bloques o apoyos, se deberán cabecear de modo que cumplan con los requisitos especificados. La carga se podrá aplicar rápidamente, hasta aproximadamente el 50% de la carga de ruptura, después de la cual se deberá aplicar con una rapidez tal que el aumento del esfuerzo de la fibra extrema no exceda diez kilogramos por centímetro cuadrado por minuto. Se deberán hacer medidas con una aproxima

mación de un décimo (0.1) de centímetro para determinar el ancho y el peralte promedio del espécimen. Si la fractura ocurre dentro del tercio central, el módulo de ruptura se deberá calcular del modo siguiente:

$$R = \frac{P I}{b d^2}$$

R = Módulo de ruptura. Kg/cm<sup>2</sup>

P = Carga máxima aplicada, la indica la máquina. Kg

P/2= Carga aplicada en cada tercio de la viga. Kg

L = Distancia entre centros de apoyo. cm

b = Ancho medio del espécimen. cm

d = Peralte medio del espécimen. cm

Si la fractura ocurre fuera del tercio medio, desfasada respecto de éste una distancia no mayor de un cinco por ciento (5%) de la distancia entre apoyos, el módulo de ruptura deberá calcularse del modo siguiente:

$$R = \frac{3Pa}{bd^2}$$

a) Distancia entre la línea de fractura y el apoyo más próximo, medida a lo largo de la línea cen-

tral de la superficie inferior de la viga, cm.

Si la fractura ocurre fuera del tercio medio del claro de la viga, desfasada en más de 5 cinco por ciento (5%) respecto a la distancia entre apoyos, la prueba deberá de secharse. Generalmente estas pruebas se efectúan a los catorce y veintiocho días.

- 1.- Balin de acero
- 2.- Canal o placa de acero
- 3.- Apoyo cilindrico o lineal en todo lo ancho del especimen.
- 4.- Cabeza de la máquina.
- 5.- Especimen.

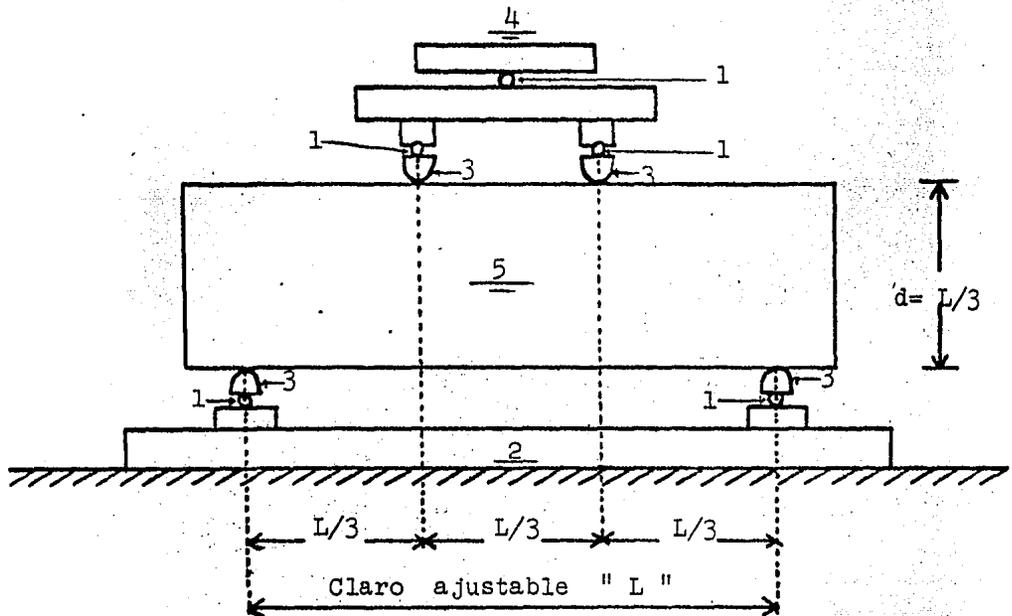


FIGURA 5.4

## VI.- CONCLUSIONES

Debido a la actual crisis económica por la que atraviesa el país, es de vital importancia, ahora más que nunca, que la construcción de pavimentos se desarrolle de una manera eficiente, tal que su comportamiento sea el previsto en la etapa del diseño, por lo cual, para lograr lo anterior, se debe de poner más atención en toda la etapa constructiva, en el control de calidad de todos los materiales que se van a emplear, en el grado de compactación solicitado, en el proyecto de las obras de drenajes; etc.

Los pavimentos flexibles son los más empleados en nuestro medio, debido a la gran cantidad de recursos asfálticos con que cuenta nuestro país, además de que, requieren de una inversión inicial baja en comparación con los pavimentos rígidos, aunque su conservación es más costosa.

En este tipo de pavimentos se debe poner especial cuidado en la cantidad de finos que tendrá la base, ya que, hasta la fecha aún no se ha definido que porcentaje es el más adecuado, un abuso de éstos, puede causar una falla en el pavimento, puesto que, aumentará la deformabilidad de la base; otro problema que se presenta es que los finos reducen considerablemente la afinidad del material pétreo con el asfalto, lo que traerá como consecuen

cia una baja durabilidad de la carpeta asfáltica y naturalmente un mal comportamiento del pavimento flexible.

Los pavimentos rígidos en cuanto a su economía se refiere, deben valorarse siempre a largo plazo, su construcción requiere la maquinaria especializada, lo cual hace que su costo inicial muy alto. Cuando se utilice este tipo de pavimento se deberá tener especial cuidado en la construcción de las juntas que se van a distribuir en toda su longitud, ya que una falla provocará un incremento considerable en el costo del pavimento.