

F 141  
Universidad Nacional Autónoma de México  
FACULTAD DE INGENIERIA



CARPETAS ASFALTICAS PARA  
PAVIMENTOS FLEXIBLES EN CARRETERAS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A

JUAN MANUEL SANTOS ROMO

MEXICO, D. F.

1979



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

I.	INTRODUCCION . . . . .	1
	I.1 OBJETIVOS . . . . .	2
	I.2 PARTES QUE CONSTITUYEN UN PAVIMENTO . . . . .	3
II.	TECNOLOGIA DEL ASFALTO . . . . .	8
	II.1 HISTORIA DEL ASFALTO . . . . .	9
	II.2 ORIGEN DE LOS ASFALTOS . . . . .	10
	II.3 DEFINICION Y ASPECTOS QUIMICOS . . . . .	12
	II.4 FABRICACION DE ASFALTOS . . . . .	13
	II.5 TIPOS DE ASFALTOS PARA PAVIMENTOS . . . . .	21
	II.6 OBTENCION E IDENTIFICACION DE MUESTRAS . . . . .	25
	II.7 PROPIEDADES Y PRUEBAS DE LABORATORIO DE ASFALTOS . . . . .	26
III.	MATERIALES PETREOS . . . . .	40
	III.1 BANCOS . . . . .	41
	III.2 PROPIEDADES FISICAS DE LOS AGREGADOS . . . . .	45
	III.3 PRUEBAS DE LABORATORIO DE MATERIALES PETREOS . . . . .	50
	III.4 ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES PETREOS . . . . .	54
IV.	DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS . . . . .	57
	IV.1 METODOS DE DISEÑO . . . . .	59
	A) MEZCLA EN EL LUGAR (PRUEBA DE COMPRESION SIN CONFINAR) . . . . .	59
	B) MEZCLA EN CALIENTE (METODO MARSHALL) . . . . .	65
	IV.2 METODO DE HVEEM . . . . .	71
	IV.3 METODO DE HUBBARD-FIELD . . . . .	75
	IV.4 PROCEDIMIENTO PARA CALCULAR EL CONTENIDO MINIMO DE ASFALTO EN MEZCLAS ASFALTICAS . . . . .	70
V.	DETERMINACION DE ESPESORES DE CARPETAS ASFALTICAS . . . . .	81
	V.1 VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS . . . . .	83
	V.2 CONCEPTO DE EJE EQUIVALENTE Y CALIFICACION ACTUAL . . . . .	83
	V.3 COEFICIENTES DE EQUIVALENCIA DE DAÑO . . . . .	87
	V.4 METODOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES . . . . .	90

VI.	PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION DE CARPETAS ASFALTICAS . . . . .	107
VI.1	CLASIFICACION DE CARPETAS ASFALTICAS . . . . .	109
VI.2	MEZCLA EN EL LUGAR . . . . .	110
VI.3	MEZCLA EN PLANTA . . . . .	111
VI.4	RIEGOS SUPERFICIALES . . . . .	116
VII.	CONSERVACION DE CARPETAS ASFALTICAS . . . . .	119
VII.1	FALLAS, CAUSAS POSIBLES Y CRITERIOS DE REPARACION . . . . .	122
VIII.	CONCLUSIONES . . . . .	128
	BIBLIOGRAFIA . . . . .	133
	REFERENCIAS . . . . .	135

**CAPITULO I****INTRODUCCION**

## I.1 OBJETIVOS

Para que una carpeta asfáltica cumpla con las mejores condiciones de resistencia y durabilidad, considero de importancia conocer, de los materiales que la forman, su naturaleza, pruebas y normas de calidad a la que son sometidos, el proporcionamiento adecuado entre asfalto y materiales pétreos, así como los procedimientos constructivos a que deben ser sometidos estos materiales, de tal forma que todo estudiante de Ingeniería, como todas aquellas personas relacionadas en el trabajo de pavimentos obtengan de esta tesis un material de información y de consulta.

Es necesario que las personas interesadas en el estudio de Pavimentos, logren una vez leído el Capítulo II, la identificación de este material (asfalto) que es el principal objetivo de este tema, de tal manera que conozcan su origen, composición química, propiedades, evolución o transformación que sufre desde el estado natural hasta sus diversas utilidades, y por último su finalidad.

En el Capítulo III debe entenderse que, en las superficies asfálticas el agregado contribuye a su estabilidad mecánica, soporta el peso del tráfico y al mismo tiempo transmite las cargas a las capas inferiores del pavimento de allí la importancia de este tema que es el conocer las pruebas a las que son sometidos los materiales pétreos para determinar su calidad de acuerdo a las Especificaciones de Construcción.

El objetivo del Capítulo IV es dar a conocer la forma como se diseñan las mezclas asfálticas para pavimentación, así como la forma de calcular las cantidades de cemento asfáltico que deben incorporarse al material pétreo, llegando a entender que una mala mezcla da lugar a que las obras resulten defectuosas, provocando fallas en el pavimento y como consecuencia pérdidas económicas.

No hay ningún método de diseño que calcule el espesor de la carpeta directamente, sino que como se verá en el Capítulo V, éstos se fundamentan en pruebas de laboratorio y en base a correlación experimental se obtienen los espesores de las diversas capas (sub-rasante, sub-base, base, carpeta).

En México se utiliza el método V.R.S. como método de diseño intentando medir el comportamiento real del suelo con una técnica de laboratorio en la que se realizan pruebas con cargas estáticas o con velocidades

de aplicación muy lentas, de tal manera que podamos correlacionar el — comportamiento real de los pavimentos con cargas móviles.

Este capítulo podríamos considerarlo como una pequeña introducción— en el diseño de pavimentos, en el cual no vamos a profundizar ni a discu— tir ya que no es objetivo de este tema, sino que lo primordial es obser— var cuales son aquellos elementos que intervienen en el diseño de pavi— mentos de tal manera que completemos el capítulo con algunos ejemplos — sencillos de aplicar.

El objetivo del Capítulo VI es dar a comprender que para que una — carpeta se comporte satisfactoriamente y que tenga una larga vida útil,— va a depender de tres factores principales: elaboración, tendido y com— pactación.

Para lograr esta comprensión, se mencionarán los procedimientos — constructivos necesarios, tanto para mezcla en el lugar como en planta.

Finalmente en el Capítulo VII la parte esencial de este tema es ha— cer ver la importancia que tiene la conservación de una carpeta y no con— siderarla como una actividad secundaria que requiere poca técnica, lo — cual podría ocasionar destrucción completa de largos tramos, que obli— guen a reconstruir la totalidad del pavimento.

## I.2 PARTES QUE CONSTITUYEN UN PAVIMENTO

Antes de iniciar con el siguiente capítulo, considero necesario ha— cer referencia a los elementos estructurales que constituyen una carrete— ra, así como las diferentes capas que constituyen el pavimento, de tal — forma que sea una pequeña introducción al desarrollo de esta tesis.

Los elementos fundamentales que constituyen la estructura de una ca— rretera son:

- 1.- El terreno de cimentación.
- 2.- Las terracerías.
- 3.- Las obras de drenaje.
- 4.- El pavimento.

1.- El terreno de cimentación.

Es la zona de la corteza terrestre en el cual queda apoyada la es— tructura de la obra vial.

## 2.- Las Terracerías.

Están constituidas por el conjunto de cortes y terrapienes de una obra vial, ejecutadas hasta la subrasante de acuerdo con el proyecto. Las terracerías según el Manual de Proyecto Geométrico de la Secretaría de Obras Públicas (Ref. 10) está formada por la capa subrasante y material para terracerías (Fig. 1.1) constituyendo el llamado cuerpo del terraplón, haciendo la aclaración que pueden existir otras notaciones.

El cuerpo del Terraplón es la estructura de forma y dimensiones definidas por el proyecto, comprendida entre el terreno de cimentación y la subrasante, construida con material adecuado producto de un corte o de un préstamo.

El corte es la excavación del terreno natural y remoción de los materiales producto de la misma, para formar la subrasante, los taludes, las cunetas y escalones correspondientes a una obra vial.

## 3.- Las obras de drenaje.

Son todas aquellas obras cuya finalidad consiste en que el agua superficial o subterránea que llegue o tienda a llegar a la estructura de la carretera sea desalojada rápidamente o interceptada de manera adecuada, evitando con ello que se produzcan deterioros en la estructura afectando su buen funcionamiento y duración. Las obras de drenaje son en cortes: el bombeo, cuneta, contracuneta, subdrenaje; y en terrapienes: bombeo, guarniciones, lavaderos, alcantarillas, puentes, etc.

## 4.- El Pavimento.

Es la capa o conjunto de capas comprendidas entre la subrasante y la superficie de rodamiento, cuya función principal es soportar las cargas rodantes y transmitir a las terracerías los esfuerzos que producen, distribuyéndolos en tal forma que no se originen deformaciones perjudiciales en ellas. El pavimento se apoya directamente sobre la capa subrasante, que constituye la parte superior de las terracerías, con espesor mínimo de 30 cm, permitiendo que los esfuerzos que lleguen a las terracerías sean menores, implicando deformaciones menores. Es una capa formada por un suelo de calidad adecuada (material pasando 100% la malla de 4") y debidamente compactado.

Existen dos tipos de pavimento:

- a) Los Pavimentos flexibles llamados también pavimentos asfálticos, están formados por una sub-base, una base y la carpeta asfáltica (Fig. 1.1).
- b) Los Pavimentos rígidos están constituidos por una sub-base y una losa de concreto hidráulico (Fig. 1.2).

A continuación describiremos brevemente las capas que constituyen un pavimento flexible:

#### Sub-base.

Es una capa de material granular procesado que se coloca, extiende y compacta, directamente sobre la subrasante.

Sus principales funciones son de transmitir los esfuerzos a la capa subrasante adecuadamente, constituir una transición entre los materiales de base y la subrasante, actuando como filtro de la base para evitar la contaminación y la incrustación de ambos materiales, disminuir efectos perjudiciales en el pavimento ocasionados por cambios volumétricos y rebote elástico del material de las terracerías o del terreno natural, actuar como dren para desalojar el agua que se infiltre al pavimento y para impedir la ascensión capilar hacia la base del agua procedente de la terracería, reducir el costo del pavimento ya que siendo una capa que — por estar colocada abajo de la base queda sujeta a menores esfuerzos y — requiere especificaciones menos rígidas, mismas que pueden satisfacerse con un material más barato que el de la base.

La Secretaría de Obras Públicas fija un valor relativo de soporte — mínimo de 50% con el material en condición saturada; exige el 95% de compactación. El tamaño máximo del agregado pétreo 2" y el espesor suele — considerarse 12 o 15 cm como dimensión mínima constructiva.

#### Base.

Consiste en una capa de materiales seleccionados que se construye — sobre la sub-base y ocasionalmente sobre la subrasante limitada en su — parte superior por la carpeta. Las principales funciones son de soportar apropiadamente las cargas transmitidas por los vehículos a través de la carpeta y distribuir los esfuerzos a la sub-base o capa subrasante. La base debe también drenar el agua que se introduzca a través de la carpeta o por los acotamientos del pavimento, así como impedir la ascensión capilar. En muchas ocasiones la escasez de material pétreo adecuado —

6

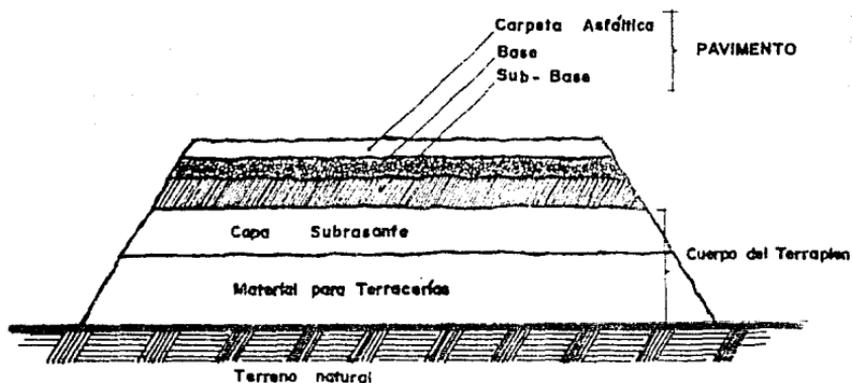


Fig. (1.1) SECCION TIPO DE PAVIMENTO FLEXIBLE

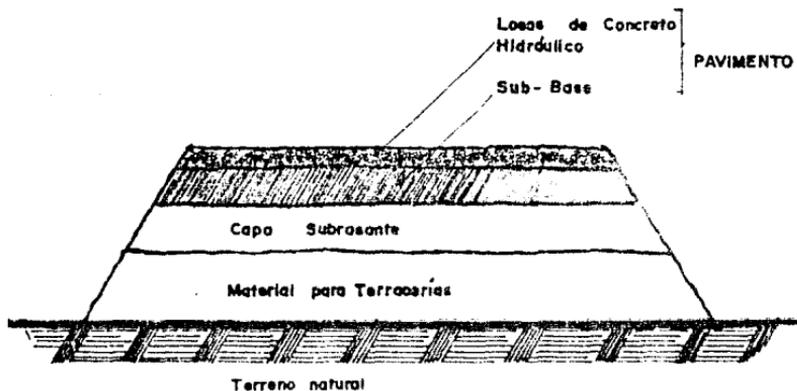


Fig. 1.2 SECCION TIPO DE PAVIMENTO RIGIDO

para formar la capa de base obliga a utilizar materiales cercanos a la obra que por sí solos no reúnen las características físicas satisfactorias para dicho fin, por tal motivo requieren estas bases un producto estabilizante a fin de disminuir su plasticidad y aumentar su resistencia, estas estabilizaciones podrán realizarse con asfalto, cemento o cal.

La Secretaría de Obras Públicas fija un valor relativo de soporte mínimo de 80%; exige el 95% de compactación. El tamaño máximo del agregado pétreo, de 2" en materiales naturales que no requieren ningún tratamiento y en 1 1/2 " en materiales que han de cribarse o triturarse. Suele considerarse como espesor mínimo conveniente 12 ó 15 cm.

#### Carpeta asfáltica.

Es la capa o conjunto de capas que se colocan sobre la base, constituidas por material pétreo de tamaños especificados y un producto asfáltico.

Los principales requisitos y funciones que deben cumplir son los siguientes:

- a) Estabilidad.- la carpeta debe resistir las deformaciones que le produzcan las cargas permanentes o alternas repetidas.
- b) Durabilidad.- deberá resistir la acción del tránsito y los agentes atmosféricos sin desintegrarse.
- c) Antiderrapante.- la seguridad del tránsito exige, que la superficie de rodamiento de la carpeta posea y conserve cierta rugosidad para impedir que los vehículos derrapen, aún con el pavimento mojado.
- d) Antideslumbrante.- para evitar reflejos durante la noche facilitando la conducción de los vehículos.
- e) Impermeabilidad.- en caso contrario el agua puede penetrar en las capas inferiores, reblandeciéndolas y provocar deformaciones.

**CAPITULO II****TECNOLOGIA      DEL      ASFALTO**

## 11.1 HISTORIA DEL ASFALTO

Estemos familiarizados con los muchos productos derivados del petróleo, que tanto contribuye a nuestra economía moderna y a nuestro modo de vivir, pero pocos pueden darse cuenta de que el asfalto fue el primer producto del petróleo que usó el hombre. Los arqueólogos (Ref. 11) han determinado que el asfalto se usó como material aglutinante y como impermeabilizador por las civilizaciones que obtenían el producto de yacimientos superficiales que se hallaban, unos a lo largo de las orillas del río Eufrates, otros cerca del río Tigris, al norte de Irak y otros más, cerca del río Jordán en Libano en tiempos tan lejanos como 3 800 años -- A. C. Hacia el año 2 500 A. C., los Asirios, los Egipcios y los Persas lo usaron para momificación y embalsamamientos. Los asfaltos usados por esas civilizaciones se obtenían de depósitos del Asia Menor, localizados en la región en la que en general se encuentran los campos petroleros -- que constituyen en la actualidad, una de las zonas productoras principales del mundo.

Los gobernantes de los imperios Sumerios, Asirios y Caldeos usaron asfaltos que encontraron en fuentes naturales, para impermeabilizar las paredes de sus palacios. También se usaba como cemento para unir las piedras de colores que formaban los ídolos. Una civilización antigua -- del Valle del Indo usó asfalto en la construcción de grandes baños o estanques públicos.

Durante mucho tiempo se abandonó al parecer el uso de este producto y no fue sino hasta 1802 de nuestra era que Francia lo emplea para pavimentación de suelos, puentes y aceras.

Como consecuencia del desarrollo del automóvil y debido al estímulo dado a la industria del Petróleo por la Primera Guerra Mundial, las compañías petroleras beneficiaron grandes cantidades de petróleo de base de asfalto. Gradualmente los asfaltos obtenidos de esta manera se hicieron abundantes y de buena calidad.

En 1902, los Estados Unidos de Norteamérica obtuvieron el asfalto -- mediante destilación del petróleo crudo.

En la actualidad todos los materiales asfálticos que se utilizan -- son un producto del crudo de petróleo. El asfalto se usa fundido, disuelto en gasolina o aceites ligeros o como emulsiones de asfalto en -- agua.

### Uso.

La principal utilización de los productos asfálticos (Ref. 5) radica en la pavimentación de carreteras y calles, aunque también se emplea en la preparación de compuestos para techado, recubrimientos, impregnación o impermeabilización, en la fabricación de pinturas y en emulsiones.

En el campo de la Ingeniería hidráulica, el asfalto se utiliza en el recubrimiento de canales cuyo objeto principal es conservar el agua en las formaciones permeables e impedir la erosión de los diques. También se han aplicado mezclas de asfalto en la construcción de escolleras para resistir la acción de las olas, y en la erección y mantenimiento de rompeolas. En los rompeolas y escolleras de albañilería, se ha podido evitar o conseguir eficazmente el desprendimiento de material y la formación de grietas, vertiendo grandes masas de asfalto caliente entre y por encima de ellas, lo cual suministra un medio de unión mecánico.

El empleo de capas impermeables de asfalto en la construcción de presas y estanques presenta también grandes ventajas.

Las tuberías de acero enterradas destinadas a productos del petróleo o agua necesitan estar protegidas contra la corrosión del suelo. Esto se efectúa normalmente por la aplicación de capas densas de asfalto so- plado, generalmente mezclado con un filler mineral. Las conducciones de agua pueden recubrirse, además, interiormente, con una mezcla de asfalto y filler, que aparte de la protección de las tuberías, incrementa la capacidad de carga por disminución de la fricción.

## II.2 ORIGEN DE LOS ASFALTOS

Hay en general dos tipos de materiales para pavimentación: los as- faltos naturales o nativos y aquellos que son derivados del petróleo. Se considera arbitraria esta definición, puesto que ambas clases de mate- rias primas se originan en la naturaleza y por lo tanto son productos na- turales. El asfalto natural tiene que ser rebajado con un asfalto más - suave antes de que sea propio para la pavimentación y el petróleo asfál- tico tiene que ser destilado hasta llegar a una consistencia conveniente.

### Asfalto natural.

El asfalto natural se forma cuando el crudo de petróleo sube a la -

superficie terrestre a través de grietas. La acción del sol y del viento separan los aceites ligeros y los gases, dejando un residuo negro y plástico que es el asfalto. La mayor parte de los asfaltos naturales, están impregnados con un alto porcentaje de arcilla o de arena muy fina, durante el viaje del crudo a través de la corteza terrestre.

Los yacimientos de asfalto natural, se encuentran muy diseminados en la superficie del globo terráqueo.

El asfalto nativo más viejo que se conoce es el de Judea (Valle del Jordán, Mar Muerto y sus alrededores). En las Antillas los yacimientos más importantes de asfalto son los de Trinidad. En Venezuela (Lago de Bernabuz) y en Cuba se encuentran yacimientos que ofrecen de 75 a 80% de asfalto puro soluble en bisulfuro de carbono. En Estados Unidos se encuentran yacimientos de asfalto puro, el cual es duro y quebradizo (Gilsonita y Grahamite) que se encuentra en varias localidades, en las hendiduras de las rocas o en vetas, de las cuales se extrae como el carbón de mina. En Albania se encuentran los yacimientos lenticulares de Selenitza cuyo producto es más puro que el de Trinidad.

El asfalto crudo de la isla de Trinidad, uno de los depósitos naturales más conocidos en la actualidad, es una mezcla uniforme de agua, gas, arena extremadamente pulverizada, arcilla y asfalto; tiene el aspecto de una tierra esponjosa húmeda que huele fuertemente a ácido sulfhídrico y en general se extrae mecánicamente y se transporta a refinerías.

Asfaltos de roca.

Los asfaltos de roca son rocas silíceas o calcáreas impregnadas naturalmente con bitumen puro.

Las rocas asfálticas varían considerablemente en su contenido de asfalto; especímenes de rocas calcáreas, por ejemplo las de Oklahoma, muestran contenidos de 3 a 4%, en tanto que las arenas asfálticas de California tienen 15 y 17% de asfalto.

Asfalto de Petróleo.

Los asfaltos de petróleo se obtienen del crudo por destilación. Más adelante hablaremos más a fondo de este proceso de refinación.

### II.3 DEFINICION Y ASPECTOS QUIMICOS

#### Definición.

El asfalto es un material de color que varía del negro a pardo oscuro, sólido o semisólido, que se licúa gradualmente al calentarse, cuyos constituyentes predominantes son hidrocarburos solubles en sulfuro de carbono en su mayor parte y procedente de yacimientos naturales u obtenidos como residuo del tratamiento de determinados crudos de petróleos, por destilación y cuyas propiedades físicas y químicas lo hacen apto para multitud de aplicaciones de diverso tipo.

El asfalto es un material de particular interés para el Ingeniero - porque es un aglomerante resistente, muy adhesivo, altamente impermeable y duradero. Es una sustancia plástica que da flexibilidad controlable a las mezclas de áridos con los que se combina usualmente, siendo así, un elemento básico en los pavimentos asfálticos. Además, es altamente resistente a la mayor parte de los ácidos, álcalis y sales. Aunque es una sustancia sólida o semisólida a temperaturas atmosféricas ordinarias, puede licuarse fácilmente por aplicación de calor, por la acción de disolventes de volatilidad variable o por emulsificación.

#### Constitución.

Los asfaltos (Ref. 4) están compuestos, principalmente, por sustancias en la que predomina el carbono y el hidrógeno. Aunque pueden estar presentes muchos tipos de hidrocarburos, los asfaltos se preparan, generalmente, a partir de crudos ricos en aromáticos y naftenos. Existen también, al estado de combinación, pequeñas cantidades de azufre, nitrógeno y oxígeno, y algunos metales como vanadio y níquel.

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

Los asfaltenos dan al asfalto su dureza.

Las resinas dan al asfalto sus propiedades cementantes.

Asfaltenos y resinas en conjunto le imparten propiedades cementantes, conservadoras e impermeabilizantes.

Los Aceites proveen de movilidad y plasticidad al asfalto, haciéndolo

lo manejable para todos los usos.

Las proporciones relativas de cada ingrediente del asfalto, determinan su consistencia y sus características como medio cementante conservador.

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

Las propiedades físicas, de flujo (reológicas), y coloidales, y las características de durabilidad de un asfalto, dependen de su composición química. Tanto las propiedades reológicas como las coloidales tienen influencia en su durabilidad en servicio, que es la norma definitiva para juzgar a un asfalto como bueno.

Las pruebas empíricas como la de penetración y la del punto de reblandecimiento han jugado un papel muy importante en el desarrollo de la industria y tecnología del asfalto.

Los adelantos que se logren en el conocimiento de las propiedades de los asfaltos dependerán de: el perfeccionamiento de las técnicas experimentales viejas y del invento de nuevas; y de que se obtenga mayor cantidad de datos respecto a la composición química y de la estructura del material. Con respecto a la primera, los tecnólogos en asfalto deberán estar alertas con los adelantos que se logren.

#### II.4 FABRICACION DE ASFALTOS

El petróleo crudo está constituido esencialmente por una mezcla de hidrocarburos, y todos los procesos de refinado apuntan a una separación de esta mezcla en compuestos individuales o grupos de compuestos de utilidad industrial. El primero y más obvio método para efectuar esta separación es la destilación, que depende de los distintos puntos de ebullición de estos compuestos.

Podemos mencionar 3 métodos (Ref.5):

- a) Destilación por vapor al vacío.
- b) Extracción con disolvente.
- c) Asfaltos moplados.

La mayor parte del asfalto que se produce y se usa en la América es refinado del petróleo siendo un excelente material para pavimentación el destilado por vapor. El asfalto refinado se produce en una variedad de tipos y calidades que varían desde los sólidos, duros y quebradizos, hasta líquidos casi tan fluidos como el agua. La forma semisólida, conocida como cemento asfáltico, es el material básico y puede considerarse como una combinación de asfalto duro y aceites no volátiles del petróleo.

Los productos asfálticos líquidos se preparan generalmente diluyendo o mezclando los cementos asfálticos con destilados de petróleo o emulsificándolos con agua; posteriormente hablaremos más a fondo de este tema.

#### A) Destilación por vapor al vacío.

Cuando los componentes volátiles de un aceite se eliminan por destilación, el residuo, que contiene los componentes no volátiles de elevado peso molecular, es el asfalto. El crudo puede destilarse hasta dar asfalto, en una unidad moderna combinada en dos fases, atmosférica y vacío (Ref. 7).

La forma más sencilla de verificar la destilación es a la presión atmosférica; pero como las fracciones más volátiles (gasolina, queroseno, gas oil, etc.) ya han sido eliminadas, sería preciso emplear temperaturas muy altas, exponiéndose al posible cracking (rompimiento de moléculas que hacen al asfalto menos viscoso o bajo punto de ebullición) del asfalto, de forma que es costumbre destilar el residuo bajo vacío.

El proceso de refinado del crudo del petróleo es un proceso continuo que consiste principalmente del bombeo del petróleo crudo a través de un horno tubular para elevar su temperatura hasta el nivel deseado por el calor de combustión de gas o aceite, pasando posteriormente a una torre de destilación para su primer separación. Esta torre de destilación es un cilindro vertical que en su interior están una serie de placas formas superpuestas que cuando entran mediante inyección, el crudo de petróleo caliente y los vapores o fracciones más ligeras se acumulan en-

las plataformas superiores y en los niveles inferiores se acumulan grados o separaciones más pesadas del crudo, quedando en el fondo el residuo pesado del crudo del petróleo que contiene al asfalto.

Durante este primer proceso de separación, las refinerías separan el crudo del petróleo en 5 productos que son:

- 1.- Gasolina
- 2.- Keroseno
- 3.- Diesel-oil
- 4.- Aceite lubricante
- 5.- Material residual pesado

Finalmente, el residuo pesado del crudo del petróleo mediante proceso de temperatura y de inyección de vapor al vacío da la obtención de los asfaltos para pavimentación, así como fracciones más ligeras como gasoleos y lubricantes (Fig. 2.1).

La calidad del asfalto depende de la temperatura a que la carga entra en la columna; así, si aumentamos la temperatura en el horno tubular y al vacío aplicado a la torre, se obtiene un producto final que es el asfalto de baja penetración; el asfalto de penetración 180 a 220, — precisa una temperatura de poco más de  $300^{\circ}\text{C}$ , mientras que para asfaltos duros, es necesaria una temperatura de, aproximadamente,  $440^{\circ}\text{C}$ .

#### B) Extracción con disolvente.

Este método está vinculado íntimamente con la fabricación de aceites lubricantes de alta viscosidad, que requieren un cuidadoso control de temperatura del crudo del petróleo.

Para la extracción del asfalto de las fracciones de aceites lubricantes pesados, contenidos en el residuo de la Planta de Destilación al Vacío, se emplea el propano; usualmente el producto final en este proceso es un asfalto de penetración bastante baja. Para la transformación de este asfalto de penetración relativamente baja a cualquier otro más blando, es necesario mezclarlo con una pequeña cantidad de material residual blando.

#### C) Asfaltos sopladados.

La utilización de este tipo de asfalto es industrial, es decir, se emplea en techados, cajas de baterías, revestimientos, interiores para-

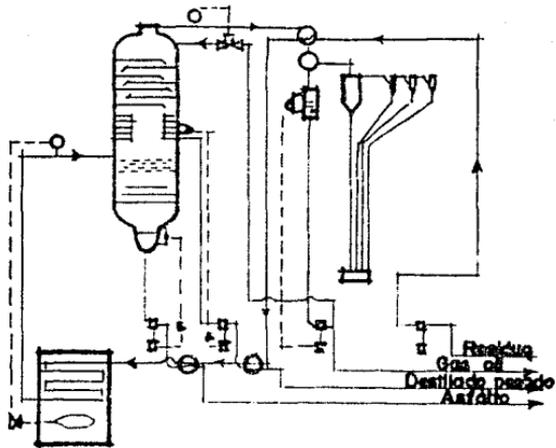


Fig. 2.1 Planta de destilación a vacío para asfalto

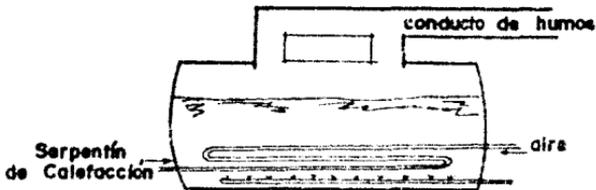


Fig. 2.2 Caldera para soplado discontinuo de asfalto

automóviles y pinturas impermeabilizantes; se usa mucho como material para relleno de juntas de pavimentos rígidos.

El soplado con aire es un proceso de deshidrogenación, oxidándose el hidrógeno con el oxígeno del aire para dar agua, con la consiguiente polimerización de los hidrocarburos y la formación de moléculas mayores. El proceso de soplado, además de incrementar el rendimiento de asfalto, afecta también las propiedades del producto resultante, aumentando así sus posibilidades de uso. Los asfaltos soplados son de consistencia elástica, índice de penetración alto y baja ductilidad.

Para el soplado del asfalto con aire se emplean equipos de varios tipos, distintas formas de calderas, diferentes métodos de introducción del aire, de control de temperatura y de eliminación de los gases residuales. Las características más importantes son: la consecución de un íntimo contacto entre el aire y el asfalto y la rápida separación de los gases. El residuo o asfalto, en cantidad de 25 a 100 m<sup>3</sup>, según sea la capacidad de la caldera, se calienta o enfría por medio de un serpentín; el aire se introduce a través de una tubería perforada colocada en el fondo de la caldera y los gases residuales se eliminan a través de grandes conductos de humo.

Al comienzo del proceso, la adición de aire va acompañada por la aplicación de calor, pero después de un cierto tiempo la temperatura comienza a elevarse a causa del calor de reacción y se elimina el calentamiento artificial. Incluso puede ser necesario aplicar agua para el enfriamiento. La cantidad de aire varía con los diferentes tipos de asfaltos, pero, normalmente, oscila entre dos a cuatro metros cúbicos de aire por minuto o por tonelada de carga (Fig. 2.2).

A manera de ejemplo, presentamos un diagrama de bloques de la Refinería de Salamanca (Fig. 2.3), en donde se muestran las plantas existentes, así como los productos que se van obteniendo. Siendo el asfalto, el producto que nos interesa, se dará una explicación breve de la obtención del mismo.

Situada en el centro de la República, se localiza la Refinería de Salamanca, la cual distribuye combustibles y derivados del petróleo.

Las materias primas básicas que recibe son:

- a) El aceite crudo de Poza Rica, por medio de dos oleoductos, uno de 12" y otro de 14", con una capacidad de 100 000 BPD (barriles por día, - 1 barril=159 litros). Este aceite que tiene un peso específico de - 0.860, es de base parafínica y contiene 2.0% de azufre, lo que hace necesario el empleo de tratamientos especiales para la eliminación - del mismo.
- b) Gas natural que se recibe por un gasoducto de 14" y que proviene de los yacimientos del Estado de Tabasco, a razón de un millón de metros cúbicos por día. Este gas se emplea en la elaboración de amoníaco y bióxido de carbono; está prácticamente libre de azufre y contiene aproximadamente 94% de metano. Además, el gasoducto tiene derivaciones que surten de combustible a las industrias que se encuentran a lo largo de su trayecto.

#### Plantas de Proceso.

Las plantas de refinería se pueden dividir en tres grupos:

- a) Refinación: abarca las plantas que extraen del petróleo crudo, los combustibles, lubricantes y parafinas, por procedimientos físicos o químicos. También se incluyen en este grupo las plantas desintegradoras térmicas o catalíticas que transforman las fracciones pesadas en productos ligeros.
- b) Petroquímicas: comprende las plantas que emplean cualquier producto de petróleo como materia prima para obtener productos químicos como amoníaco, azufre y bióxido de carbono.
- c) Servicios Auxiliares: en este concepto se incluyen las unidades o instalaciones de las que se obtienen energía eléctrica, vapores, agua y aire, requeridos para la operación y mantenimiento de la refinería.

#### Unidades de Refinación.

- 1) Planta de Destilación Primaria (2 plantas con capacidad de 40 000 y - 58 000 BPD)

Estas unidades están diseñadas para procesar crudo de Poza Rica, - del que se obtienen los siguientes productos:

	BPD
Naftas ligeras y pesadas	21,690
Kerosina	10,160
Diesel	10,390
Gasóleo	5,430
Crudo reducido	50,330

El crudo reducido se emplea como carga para las plantas de Destilación al Vacío y Preparadora de Carga de la Desintegradora Catalítica.

2) Planta de Destilación al Vacío No. 1 (LD)

Está diseñada para procesar 15,000 BPD de crudo reducido que se obtiene de las plantas primarias.

De la destilación al vacío se obtienen los siguientes aceites básicos: Husos, transformadores, tecnol, neutro ligero y neutro, los cuales se emplean en la elaboración de aceites lubricantes.

Además se obtiene un residuo pesado que se procesa en la Planta Desasfaltadora con Propano.

3) Planta de Destilación al Vacío No. 2 (U-1)

Está diseñada para procesar 14,500 BPD de crudo reducido de las plantas primarias; produce 4,390 BPD de aceites básicos ligeros crudos — que se emplean en la obtención de lubricantes terminados.

Los cortes ligeros de esta planta son enviados a la Planta Refinadora con Furfural y el residuo a la planta Desasfaltadora con Propano.

4) Planta Preparadora de Carga para Desintegración Catalítica

Esta unidad procesa 25 000 BPD de crudo reducido de las plantas primarias y produce gasóleos y un residuo.

Los gasóleos sirven de carga a la Desintegradora Catalítica y el residuo se utiliza para producir asfaltos o combustibles pesados.

5) Planta Desasfaltadora con Propano No. 1 (LD)

Procesa residuo de la Planta de Destilación al Vacío, bajo el principio que los aceites base de lubricantes pesados contenidos en ese residuo se disuelven en el mismo, mientras el asfalto se precipita. El aceite extraído con propano se separa de éste y el propano se recupera para seguir empleándose en el sistema. Los aceites crudos se pasan a la Planta de Furfural para su refinación, mientras el residuo — puede emplearse para la preparación de asfaltos, combustibles o carga de la Planta Preparadora de Carga.

Procesa 7,000 BPD, con el rendimiento siguiente:

	BPD
Aceite ligero	1 680
Aceite pesado	1 680
Asfalto	3 640

6) Planta Desasfaltadora con Propano (U-2)

Similar a la anterior, pero de mayor capacidad.

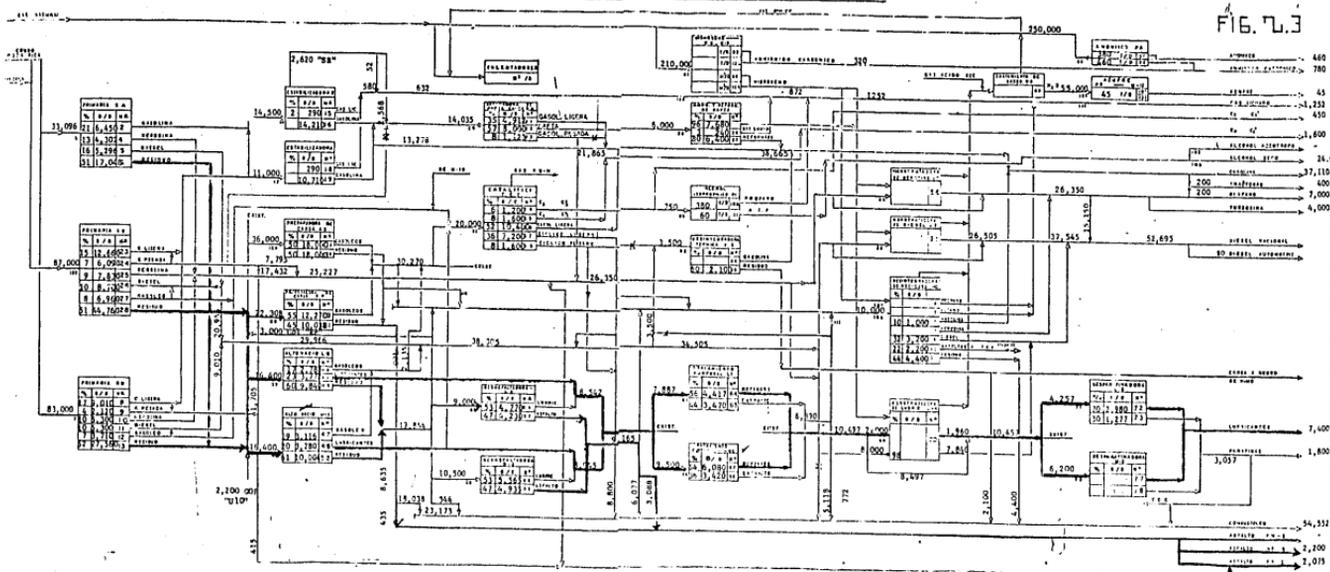
Procesa 9 850 BPD de residuo de la destilación al vacío y produce —  
5 000 BPD de lubricantes pesados de alta viscosidad.

7) Planta de Asfalto

Esta planta tiene las instalaciones necesarias para obtener 2 000 BPD  
de asfaltos de diferentes tipo de fraguado.

DIAGRAMA DE BLOQUES - REFINERIA DE SALAMANCA

F.16.7.3



## II.5 TIPOS DE ASFALTOS PARA PAVIMENTOS

Los asfaltos para pavimentación se dividen en 3 grupos (Ref. 6):

- a) Cementos Asfálticos
- b) Asfaltos Rebajados
- c) Emulsiones Asfálticas

### a) Cementos Asfálticos

El cemento asfáltico es un ligante denso que se emplea en la preparación de mezclas asfálticas en caliente. Se designa seleccionando una graduación de penetraciones de dureza adecuada para cada tipo de construcción, condiciones climatológicas y clase de naturaleza de tráfico que ha de soportar el pavimento.

Los cementos asfálticos, se dividen en números de acuerdo con sus grados de penetración:

No.	grados de penetración en décimas de mm
3	180 a 200
6	80 a 100
7	60 a 70
8	40 a 50
9	30 a 40
10	20 a 30

Los cementos asfálticos del petróleo, como ya lo mencionamos anteriormente (Ref. 5), se refinan por destilación al vapor de los residuos más pesados del proceso de fraccionamiento, continuándose la destilación hasta que se obtiene la penetración deseada.

El verdadero grado de penetración se controla por la cantidad de aceites flurantes (destilado liviano y volátil del petróleo) que se mencionen al final del proceso. Se usa vapor en el refinado, para que los volátiles pesados puedan ser separados sin aumentar demasiado la temperatura, ya que las temperaturas excesivamente altas reducen la ductilidad, rebajan la penetración y producen el desdoblamiento, lo que da un producto menos homogéneo.

Los cementos asfálticos necesitan calentarse para adquirir la fluidez que los haga trabajables, al contrario de la mayor parte de otros materiales asfálticos, cuya docilidad depende de las materias volátiles o

agentes fluxantes.

b) **Asfaltos Rebajados**

En el asfalto refinado al vapor, su manipulación no es sencilla. Con el propósito de hacer el asfalto más manejable, es conveniente incrementar su fluidez por dilución con un disolvente o por emulsiónamiento con agua.

Los disolventes empleados son destilados ligeros del petróleo, tales como naftas, querosenos, gas-oil ligero, etc. La dilución se realiza en la refinería, mientras el asfalto está todavía caliente; para ello se coloca éste en un tanque y se introduce el disolvente por el fondo, a través de una tubería perforada. La mezcla final puede realizarse por agitación por aire y, en los casos en que el disolvente es demasiado volátil, circulando el contenido del tanque con una bomba. El asfalto diluido puede manipularse fácilmente a una temperatura no muy superior a la atmosférica.

Estos asfaltos desarrollan un alto poder cementante al usarse y debido a su fluidez, facilita su aplicación y manipulación en la construcción de carreteras.

Los asfaltos rebajados pueden ser de tres tipos dependiendo de la rapidez de volatilización del solvente: De fraguado rápido (FR), fraguado medio (FM) y fraguado lento (FL), cada uno de los cuales pueden ser menos viscosos o más fluidos a más viscosos o menos fluidos, dependiendo del número que se les asigna, que va del 0 al 5, así por ejemplo, un FR-0 es menos viscoso que un FR-5 y esto va a depender de la cantidad de disolvente que debe mezclarse con el asfalto, así, el FR-0 contiene 45% de disolvente y 55% de asfalto; el FR-5 contiene 15% de disolvente y 85% de asfalto, concluyéndose que mientras más solvente exista, más fluido será el material.

1. **Asfaltos rebajados de fraguado rápido (FR).**— Se llaman así, porque se fabrican con mezcla del asfalto con cierta cantidad de disolvente, que se evapora rápidamente después de usarlo, dejando solo el asfalto. El disolvente utilizado es un material de bajo punto de ebullición como nafta o gasolina.

FR= C.A. + Gasolina o Nafta

Usos: Mezcla en el lugar, riegos de liga, riegos de selló, carpeta por el

sistema de riegos.

2. Asfaltos rebajados de fraguado medio (FM).-- Se fabrican mezclando asfalto con un disolvente de punto de ebullición intermedio de tipo - Keroseno.

FM= C.A. + Keroseno

Usos: riegos de impregnación de bases.

3. Asfaltos rebajados de fraguado lento (FL) .- La mezcla se hace - con asfalto y gas-oil (Diesel) de alto punto de ebullición o evaporación lenta.

FL= C.A. + Diesel

Usos: riego de impregnación de bases.

### c) Emulsiones Asfálticas

Antes de hablar de emulsiones asfálticas considero necesario entender lo que significa emulsión.

Se llama emulsión (Ref. 4) a la dispersión de un líquido con otro, con el cual no se mezcla, formándose lo que se conoce con el nombre de - fenómeno de dos fases. Una de estas fases está formada por gotas microscópicas de uno de los líquidos y ésta recibe el nombre de fase dispersa o discontinua, y el otro líquido en el cual no se observa división alguna y solo sirve de medio a la suspensión recibe el nombre de fase dispersante o continua.

Para formar una emulsión, se agitan juntos violentamente dos líquidos que no se mezclan. Al agitar los líquidos uno de ellos se subdivide en gotas muy pequeñas, pero tiende luego a flotar el líquido menos denso y en poco tiempo sobreviene la separación.

La tendencia que tienen todos los sistemas de dos fases a separarse, pueden reducirse hasta casi desaparecer, si a uno de los líquidos se le agregan ciertas sustancias, como la gelatina, gomas, jabones y en general sustancias capaces de formar películas delgadas y resistentes, lo que da por resultado que el sistema de dos fases se transforme en tres - fases.

Las sustancias que poseen la propiedad de producir la estabilidad de las emulsiones reciben el nombre de emulsificadores o agentes emulsificantes.

Una vez comprendido lo anterior, definiremos como emulsión asfáltica

a la mezcla del cemento asfáltico, agua y un agente emulsificante (jabón, arcilla coloidal, silicatos solubles o insolubles, aceites vegetales fundados) que retarda la separación, impidiendo que las esferas de asfalto se unan. En este caso la fase dispersa o discontinua la forma el asfalto que aparece en pequeños glóbulos y la fase continua es el agua que forma el ambiente alrededor de estos glóbulos.

Las emulsiones asfálticas son líquidas de color café claro casi tan fluidas como el agua, de la cual contienen de un 40 a un 50%; éste al parecer elevado porcentaje de una substancia que no se aprovecha como aglutinante, tiene un papel muy importante, pues permite la aplicación del asfalto en frío, permite cubrir el material pétreo de los pavimentos con partículas más delgadas que las obtenidas con los asfaltos calientes, facilita la penetración del asfalto, porque las emulsiones no se coagulan en contacto con el material pétreo húmedo y en tiempo de frío.

Fraguado de las emulsiones.- La mayor o menor rapidez con que se efectúa el fenómeno de separación de las dos fases de una emulsión asfáltica depende de los factores que intervienen en la evaporación del agua, tales como la temperatura ambiente, la humedad del aire y la velocidad del viento; es también afectada por la mayor o menor porosidad del material pétreo y primordialmente de la calidad y cantidad del agente emulsificador usado.

Hay tres tipos de asfaltos emulsionados, dependiendo de la rapidez con que se presenta el fenómeno de rotura: rompimiento rápido (RR), medio (RM) o lento (RL).

Estas se pueden utilizar para riegos de liga (RR), riegos de sello (RR), mezcla en el lugar (RR y RM), etc.

Además las emulsiones asfálticas pueden ser:

1º Cationicas, si los glóbulos de asfalto tienen carga electropositiva, en el cual las partículas de asfalto se dispersan en agua con la ayuda de un agente emulsificante. Este tipo es el más usual.

2º Aniónicas, si los glóbulos de asfalto tienen carga electronegativa, en el cual pequeñas gotas de agua se dispersan en el asfalto, donde la fase continua es el asfalto y la fase discontinua o interna es el agua.

## II.6 OBTENCION E IDENTIFICACION DE MUESTRAS

Antes de pasar a las pruebas de laboratorio de los productos asfálticos, es necesario conocer cómo se obtienen las muestras y su identificación.

1) Si los productos se transportan en carros-tanques, se deberán tomar 3 muestras de cada carro-tanque, una del fondo, otra de la profundidad media y otra de la superficie, empleando un recipiente metálico ó de vidrio de un litro de capacidad.

2) En las fosas o depósito de almacenamiento, se tomarán 3 muestras de igual forma que en el caso anterior, por cada 40,000 litros de producto almacenado.

3) En la descarga del carro-tanque o vehículo de transporte, que es el caso de los cementos asfálticos que deberán muestrearse en la descarga o bien el de asfaltos rebajados o emulsionados que no vayan a ser almacenados, sino que se transporten directamente a la obra para su aplicación, deberán tomarse una muestra al iniciarse la descarga, otra intermedia y una última al finalizar ésta. Las muestras podrán combinarse para formar una sola, o bien constituir muestras individuales. Se tomarán 3 muestras por cada unidad de transporte.

4) En la descarga de los tanques de almacenamiento de las plantas mezcladoras, el muestreo de control es complementario del muestreo efectuado en los carros-tanque o fosas de almacenamiento y deberá hacerse de la misma forma que el caso anterior, tomando una muestra diaria del producto utilizado.

### Identificación.

La identificación de las muestras deberá hacerse por medio de tarjetas que se fijarán a los recipientes que las contengan, con los siguientes datos claramente escritos:

Obra

Lugar donde se obtuvo la muestra

Número y orden en que se tomó la muestra

Tipo del producto y uso a que se destina

Fecha y hora del muestreo

Nombre del operador

Las muestras deberán transportarse del sitio de su obtención al laboratorio, debidamente empacadas en cajas de madera, rellenas los espacios vacíos con aserrín, viruta de madera o paja, a fin de amortiguar -- los golpes que pudieran sufrir durante el transporte.

## 11.7 PROPIEDADES Y PRUEBAS DE LABORATORIO DE ASFALTOS

Los ensayos que deben realizarse con objeto de conocer su calidad-- (requisito que debe cumplir un material dependiendo de los objetivos de-- seados), es la manera más práctica para medir sus propiedades.

Las propiedades de los asfaltos son:

### a) Consistencia.

La consistencia de los materiales asfálticos puede variar desde la de un líquido muy fluido ligeramente más viscoso que el agua, a la de un cuerpo semisólido.

Métodos para medir la consistencia:

#### 1. Viscosidad Saybolt-Furol

El objeto del ensayo es determinar el estado de fluidez de los as-- faltos líquidos a una determinada temperatura.

En el ensayo se emplea un viscosímetro Saybolt con orificio Furol,-- colocándolo en un tubo normalizado, cerrado con un tapón de corcho, una -- cantidad especificada de producto asfáltico, de tal manera que, cuando -- el producto haya alcanzado la temperatura de prueba, se quitará el tapón y se mide el tiempo en segundos que tarda el producto en llenar un ma-- traz de 60 cm<sup>3</sup>, pasando a través del orificio Furol (Fig. 2.4).

#### 2. Penetración

El objeto de la prueba es determinar el grado de dureza del asfalto a 25°C mediante una aguja de 1 mm de diámetro cargada con 100 gr., apli-- cando la carga durante 5 seg.

La profundidad en mm, a la que se hunde la aguja, multiplicada por 10 nos da la penetración expresada en décimas de milímetro; así por ejem-- plo, si la aguja se hunde 10 mm, la penetración será de 100 (décimas de-- milímetro). Ver Figura 2.5.

#### 3. Ensayo del Flotador

El ensayo del flotador se hace sobre el residuo de destilación de --

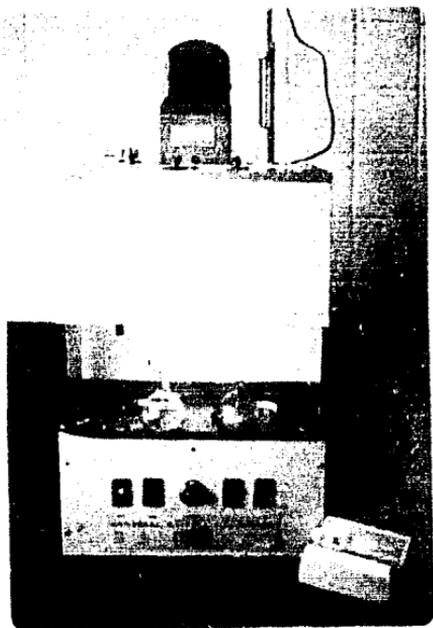
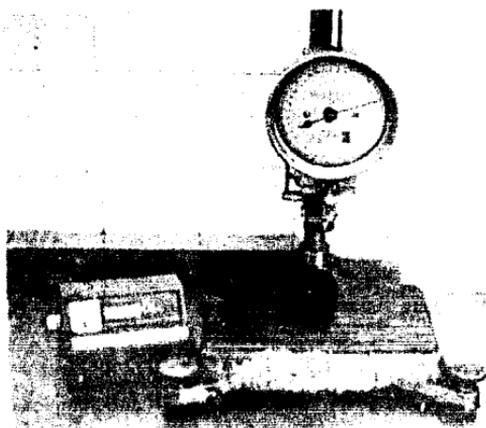


Fig. 2.1 ENSAYO DE LA  
VISCOSIDAD SAYBOLT



los asfaltos líquidos de tipo (FL) ya que es demasiado blando para el ensayo de penetración.

Para realizar el ensayo del flotador se coloca el asfalto en un pequeño molde abierto por ambos extremos. A continuación se enfría y se une al fondo de un platillo de aluminio sumergido en un baño de agua a  $-50^{\circ}\text{C}$ . El tiempo, medido en segundos, necesario para que el agua se abra paso a través del tapón de asfalto nos mide la consistencia del material (Fig. 2.6). En las especificaciones se fijan los valores que deben obtenerse en los distintos grados de asfalto líquido de tipo (FL).

#### b) Durabilidad o resistencia al intemperismo.

El asfalto, al estar en contacto con los agentes atmosféricos, pier de plasticidad disminuyendo su poder ligante, volviéndose quebradizo a causa de ciertos cambios físicos y químicos, provocando envejecimiento en la carpeta del pavimento y al mismo tiempo se forman grietas por las que penetra el agua dañando las bases por exceso de humedad.

Causas que provocan el envejecimiento del asfalto:

#### 1. Oxidación y Volatilización

Oxidación es el ataque químico del asfalto por el oxígeno del aire.

Volatilización es la evaporación de los hidrocarburos y solventes ligeros que tiene el asfalto.

Ambos producen un endurecimiento progresivo del asfalto que puede medirse en el ensayo de penetración, por ejemplo, en el primer caso se ha demostrado que cuando el asfalto de un pavimento llega a alcanzar una penetración de 30 es muy probable que se haga quebradizo y forme grietas; si alcanza una penetración de 20 es seguro que se agrietará, por lo tanto, es más conveniente emplear asfaltos más blandos. En el segundo caso, si el asfalto se calienta por arriba de  $160^{\circ}\text{C}$ , pierde gran cantidad de sus componentes ligeros, disminuyendo su grado en la prueba por penetración. En este caso se dice que el asfalto fue quemado y su durabilidad puede llegar a ser de unos días.

Es importante hacer notar el efecto de la temperatura con la volatilización y oxidación, ya que en el proceso de fabricación de la mezcla, la velocidad de reacción se duplica por cada  $10^{\circ}\text{C}$ ; así por ejemplo, en una mezcla a  $160^{\circ}\text{C}$ , la reacción es 8 veces mayor que la que se produciría a  $150^{\circ}\text{C}$ .

## 2. Acción de la luz

Los rayos ultravioleta del sol tienen un efecto destructivo sobre el asfalto, pero penetran a muy poca profundidad de las capas moleculares del asfalto. Se considera de importancia secundaria.

### c) Velocidad de Fraguado.

Fraguado es el aumento de la consistencia de un asfalto debido a la pérdida progresiva de disolventes por evaporación. Esto se explica de la siguiente forma: suponiendo que se extendió sobre una superficie un asfalto rebajado del tipo FR-0 de manera que sus disolventes puedan evaporarse, un poco tiempo después habrá perdido gasolina para ser un FR-1, y al continuar la evaporación se transformará progresivamente en FR-2, FR-3, FR-4 y FR-5, y finalmente en un asfalto puro.

El ensayo de destilación se emplea para determinar las proporciones relativas del asfalto y disolvente presentes en el asfalto fluidificado. Se emplea también para medir las cantidades de disolvente que destilan a diversas temperaturas, indicándonos las características de evaporación del disolvente.

### Destilación.

El ensayo se realiza colocando una cantidad especificada de asfalto fluidificado (200 gr.) en un matraz de destilación de 300 cm<sup>3</sup> conectado a un condensador. El asfalto fluidificado se calienta gradualmente hasta una temperatura de 360°C; se mide la cantidad de asfalto restante y se expresa como porcentaje en volumen de la muestra original (Fig. 2.7).

Al residuo de esta destilación se le verifican las pruebas de penetración o flotación, ductilidad y solubilidad.

### d) Resistencia a la Acción del Agua

La pérdida de adherencia entre asfalto y áridos se debe a dos causas: cuando la mezcla es hecha en frío, sin secar el material pétreo, ó los áridos son hidrófilos, aunque se hallan secado previamente. La adherencia puede mejorarse con el uso de aditivos.

En concreto asfáltico mezclado en caliente no es necesario emplear aditivos, ya que los áridos se secan perfectamente antes de la mezcla sin que se presenten problemas de pérdida de adherencia por humedad.

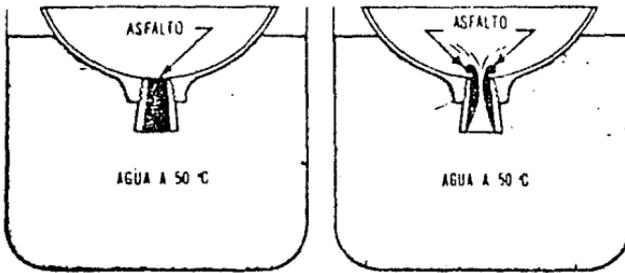


Fig. 2.6 ENSAYO DE FLOTADOR

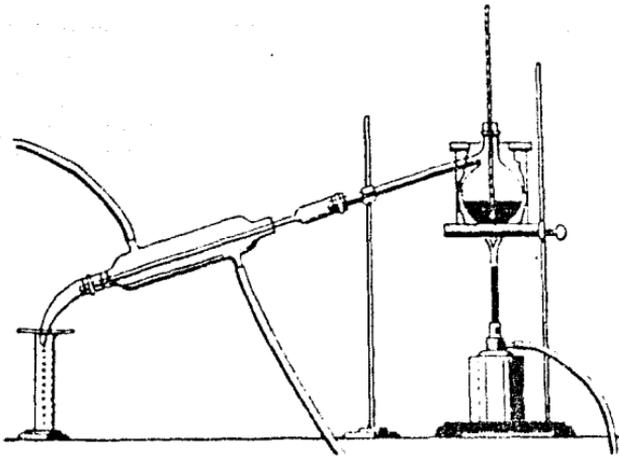


Fig. 2.7 ENSAYO DE DESTILACION

Otras pruebas que se realizan en los asfaltos son:

Punto de inflamación  
 Ductilidad  
 Solubilidad  
 Pérdida por calentamiento

### 1. Punto de Inflamación ó Ignición.

El punto de ignición de un producto asfáltico representa la temperatura crítica arriba de la cual deberán tomarse precauciones para eliminar los peligros de incendio durante el calentamiento y manipulación del mismo.

Esta prueba se realiza con la copa abierta de Cleveland, la cual se llena parcialmente con el producto asfáltico y se calienta a una velocidad establecida ( $1.5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ). Se hace pasar periódicamente sobre la superficie de la muestra una pequeña flama hasta producir chispas debido a los vapores desprendidos, anotándose la temperatura correspondiente (punto de ignición), ver Figura 2.8.

### 2. Ductilidad.

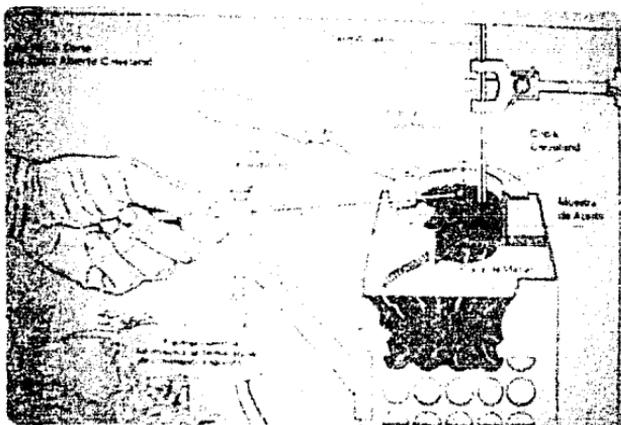
La ductilidad del asfalto se mide en un ensayo de extensión que consiste en moldear en condiciones y con dimensiones normalizadas, una probeta de asfalto, sometiéndola a una temperatura de  $25^{\circ}\text{C}$  y a una velocidad de alargamiento de  $5\text{ cm}/\text{min}$ , hasta que el hilo de asfalto que une los dos extremos, se rompa. La distancia en centímetros en la que el hilo de material se rompe, define la ductilidad (Fig. 2.9).

La ductilidad es una característica de los asfaltos, siendo de importancia en las mezclas para pavimentación, ya que mejora sus propiedades de aglomerantes.

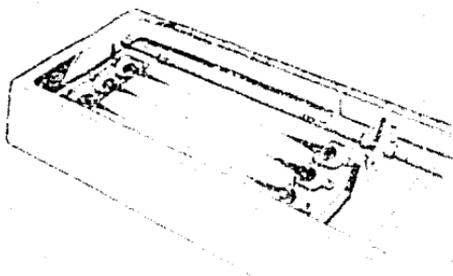
### 3. Solubilidad.

Este ensayo consiste en disolver el asfalto en tetracloruro de carbono obteniendo los pesos de material soluble y material insoluble.

El material soluble en tetracloruro de carbono se expresará como porcentaje de la muestra de asfalto utilizado para la prueba.



UNO DE LOS TIPOS DE IMPRESORA DE LA  
COMPAÑIA DE ALAPATO



#### 4. Pérdida por calentamiento de cementos asfálticos.

Cincuenta gramos de la muestra de cemento asfáltico, previamente calentado a la temperatura más baja que le permita fluir, se pesarán en la cápsula que fue tarada previamente, y se mantendrán en el horno a temperatura constante de  $103^{\circ}\text{C}$  durante un período de 5 horas. Las cápsulas - con la muestra se colocarán en el dispositivo que deberán girar a una velocidad de 6 revoluciones por minuto. Al finalizar el período de calentamiento se sacará la cápsula del horno y una vez enfriada se pesará nuevamente para calcular las pérdidas a la volatilización, que se reportarán como porcentaje del peso original de la muestra.

Las pruebas anteriores vienen detalladas en la Referencia 9.

ESTECIFICACIONES DE LOS MATERIALES ASFALTICOS

Los asfaltos rebajados de fraguado lento (tabla 2.1), de fraguado medio (tabla 2.2), de fraguado rápido (tabla 2.3), así como, los cementos - asfálticos (tabla 2.4) y las emulsiones asfálticas (tabla 2.5), deberán - satisfacer los requisitos que se indican en las Especificaciones Generales de Construcción de la Secretaría de Obras Públicas, Parte Octava, Capítulo XCIII (Ref. 8).

CONCEPTO	FL-0	FL-1	FL-2	FL-3	FL-4
Pruebas en el producto original.					
Punto de Ignición mínima (copa abierta Cleveland)	66°C	66°C	80°C	93°C	107°C
Viscosidad Saybolt-Furol:					
a 25°C seg. -----	75-150	-	-	-	-
a 50°C seg. -----	-	75-150	-	-	-
a 60°C seg. -----	-	-	100-200	250-600	-
a 82°C seg. -----	-	-	-	-	125-250
Penetración del asfalto-básico (grados)	80-100	80-100	80-100	80-100	80-100
Destilación: Destilado total a 360°C, % en volumen.	15-40	10-30	5-25	2-15	10 máx.
Pruebas de residuo de la destilación					
Flotación a 50°C, Seg.	15-100	20-100	25-100	50-125	60-150
Contenido de asfalto de 100 grados de penetración (aproximado).	40mín.	50mín.	60mín.	70mín.	75mín.
Ductilidad en cm.(mín)	100	100	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono % mínimo.	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

Tabla 2.1

C O N C E P T O	FM-0	FM-1	FM-2	FM-3	FM-4
Pruebas en el producto original.					
Punto de ignición mínima (Copa abierta Cleveland)	38°C	38°C	66°C	66°C	66°C
Viscosidad Saybolt - Furol:					
a 25°C seg. -----	75-150	-	-	-	-
a 50°C seg. -----	-	75-150	-	-	-
a 60°C seg. -----	-	-	100-200	250-500	-
a 62°C seg. -----	-	-	-	-	125-250
Penetración del asfalt básico (grados).	80-100	80-100	80-100	80-100	80-100
Destilación: Por ciento del total destilado a 360°C					
Hasta 225°C. -----	25 máx.	20 máx.	10 máx.	5 máx.	0
Hasta 260°C. -----	40-70	25-65	15-55	5-40	30 máx.
Hasta 315° C. -----	73-93	70-90	60-87	55-85	40-80
Residuo de la destilación a 360°C % del volumen por- dfr. (mín.)	50	60	67	73	78
Pruebas en el residuo de la destilación					
Penetración (grados)	120-300	120-300	120-300	120-300	120-300
Ductilidad en cm. (mín)	100	100	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, % mínimo.	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

Tabla 2.2

CONCEPTO	FR-0	FR-1	FR-2	FR-3	FR-4
Pruebas en el producto original.					
Punto de Ignición Mínimo - (Copa abierta Cleveland)	-	-	35°C	35°C	35°C
Viscosidad, Saybolt-Furul: a 25°C, seg. ----- a 50°C, seg. ----- a 60°C, seg. ----- a 82°C, seg. -----	75-150 - - -	- 75-150 - -	- - 100-200 -	- - 250-500 -	- - - 125-250
Penetración del catalfo bdsico (grados)	80-100	80-100	80-100	80-100	80-100
Destilación: Por ciento del total destilado a 360°C. Hasta 190°C más de Hasta 225°C más de Hasta 260°C más de Hasta 315°C más de	15 65 75 80	10 50 70 88	40 65 65 87	25 55 55 83	6 40 40 80
Residuo de la destilación a 360°C, % del volumen por dif. (mín.)	50	60	67	73	78
Pruebas en el residuo de la destilación					
Penetración (grados)	80-120	80-120	80-120	80-120	80-120
Ductilidad en cm. (mín)	100	100	100	100	100
Solubilidad en tetraclo- ruro de carbono, % mínimo.	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

Tabla 2.3

CONCEPTO	GRADOS DE CEMENTO ASFALTICO			
	No. 3	No. 6	No. 7	No. 8
Punto de Ignición, Capa abierta Cleveland.	220°C. Mín.	230°C. Mín.	240°C. Mín.	250°C. Mín.
Penetración. (grados).	180 - 200	80 - 100	60 - 70	40 - 50
Punto de fusión	37 - 43°C	45 - 52°C	48 - 56°C	52 - 60°C
Ductilidad	100cm. Mín.	100cm. Mín.	100cm. Mín.	100cm. Mín.
Solubilidad en tetracloruro de carbono.	99.5% Mín.	99.5% Mín.	99.5% Mín.	99.5% Mín.
Pérdida por calentamiento.	1% Máx.	1% Máx.	0.5% Máx.	0.5% Máx.

Tabla 2.4

CONCEPTO PRUEBAS EN LA EMULSION	TIPO DE EMULSIONES	
	Fraguado rápido FR-1      FR-2	Fraguado Lento FM-1, FM-2, FL-0
Viscosidad	100 Máximo.	100 Máximo.
Residuo por Destilación	57 - 58%	58 - 60%
Asentamiento en 5 días	3 % Máximo	3 % Máximo
<u>Demulsibilidad:</u>		
con 35 cc. N/80 Ca C/2	30% mínimo	—
con 50 cc. N/10 Ca C/2	—	1.0 % mínima.
Retenido en la malla 20	0.1 % máxima.	0.1 % máxima.
Miscibilidad con cemento	—	2.0 % máxima.
<u>PRUEBAS EN EL RESIDUO DE DESTILACION</u>		
Penetración del residuo	100 - 200	100 - 200
Coazas.	0.5 máximo	0.5 máximo

Tabla 2.5

## CAPITULO III

MATERIALES PETREOS

Ya que en las superficies asfálticas el agregado contribuye a su estabilidad mecánica, soportando el peso del tráfico y al mismo tiempo transmitiendo las cargas a las capas inferiores del pavimento, se deduce que, para que un material pétreo sea adecuado para su utilización en la construcción de carpetas asfálticas debe satisfacer ciertas normas de calidad al igual que los asfaltos que, en México, están contenidas en las Especificaciones Generales de Construcción de la Secretaría de Obras Públicas (Ref. 8).

En general, los materiales pétreos para la construcción de carpetas asfálticas pueden clasificarse en los siguientes grupos:

a) Materiales granulares naturales que no requieren ninguna preparación previa de trituración o cribado, tales como las arenas de río las cuales cumplen con la composición granulométrica fijada por el proyecto.

b) Materiales granulares naturales que requieren un cribado o una trituración parcial, para eliminar las partículas de tamaño mayor que el especificado, tales como las gravas-arenas de río.

c) Materiales naturales procedentes de la explotación de bancos de roca, que deberán triturarse totalmente y clasificarse en diferentes tamaños por medio de una operación de cribado.

d) Los materiales de los grupos anteriores contaminados con arcilla, materia orgánica, etc., requieren un tratamiento de lavado.

### III.1 BANCOS

Los bancos son las explotaciones de las masas geológicas o yacimientos de donde se extraen las piedras o materiales de construcción (Fig. - 3.1). Su localización y selección se convierte en uno de los problemas básicos del ingeniero civil en combinación con el geólogo, ya que el costo de los materiales es de los más importantes en la construcción y mantenimiento de las vías terrestres.

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 volumen de los desperdicios y el material aprovechable, etc., todos los cuales se reflejan en los costos.

### Selección del Banco.

a) Localización.- Es este un factor económico muy importante que hay que tomar en cuenta, ya que la distancia de acarreo desde el banco al lugar de la obra, influye directamente en el costo del material. Asimismo, en su localización habrá de considerarse las facilidades de acceso al banco, puesto que en algunas ocasiones hay necesidad de construir accesos hasta el lugar de la explotación del banco.

b) Tipo y calidad de los materiales.- En algunos bancos, es posible extraer materiales de diferentes tipos, es decir, para sub-base, base, carpeta, etc. y existen otros de los que solamente puede extraerse un solo tipo de material.

El uso de los materiales de un banco, está definido por su calidad, ya que deben cumplir con las especificaciones señaladas para las diferentes pruebas a que se someten.

c) Capacidad.- Dependiendo de su capacidad, se puede decir si es conveniente o no su explotación, ya que para llevar a efecto esto, por lo general es necesario efectuar otras operaciones como desmonte, despalme, etc., por lo que si la capacidad del banco es pequeña, tal vez no resulte conveniente su explotación.

d) Procedimiento de explotación.- De acuerdo con la naturaleza del banco y el tipo de materiales que se deseen, será el procedimiento de explotación, que puede ser desde simple extracción hasta una trituración total, o procedimientos combinados de: disgregado, cribado, trituración y lavado. De la misma forma influye el equipo necesario para efectuar estos trabajos.

De la evaluación racional de cada uno de los factores anteriores y del conjunto de ellos, será la forma de hacer la mejor selección de un banco de materiales para pavimentación.

### Extracción, carga y acarreo.

La extracción de las rocas a cielo abierto, tiene dos series de operaciones:

- a) Trabajos preparatorios.
- b) Extracción propiamente dicha.

Antes de proceder a la extracción del material, es necesario retirar los terrenos constituidos de tierra vegetal, tepetate, limos y arcis-

llas, etc., realizando las operaciones de despulme y desenraice con escrapas, tractores, arados, etc.

La extracción puede realizarse por medios mecánicos y por explosivos; el caso más general, es la extracción por medio de explosivos, con los cuales se dislocan los bancos de roca y se obtiene una fragmentación de tusaños que permiten su manejo con los medios de carga de transporte disponibles, así como su entrada a la boca de la quebradora primaria.

En muchas ocasiones, a pesar de las precauciones tomadas en las tronadas masivas de los bancos de roca, un porcentaje medio del 20% al 30% de bloques, son demasiado grandes para manejarse con los medios de que se dispone. Es necesario una reducción secundaria de dichos bloques por medio de dinamita o por medios mecánicos.

La carga se realiza por cargadores frontales sobre neumáticos o sobre orugas y por palas mecánicas (fig. 3.1), y el transporte a la planta de trituración, por camiones de diversas capacidades (Fig. 3.2) En casos de acarreo relativamente cortos, el cargador frontal sobre neumáticos puede satisfactoriamente realizar la operación de transporte a la planta de trituración.

Finalmente, podemos concluir que la abundancia o escasez de los materiales en la región donde se van a utilizar, el estudio comparativo de sus costos de extracción, preparación y acarreo y el análisis de las características de cada uno de ellos, son factores que deben analizarse cuidadosamente antes de hacer la elección final del material que debe usarse en la construcción de la carpeta.

En lo referente a la obtención, envase, identificación y transporte de las muestras de materiales pétreos que se obtengan en los bancos, almacenamientos, plantas de trituración o cribado, o del material acarreado a la obra, se hará de acuerdo a lo indicado en el Capítulo CX, - de la Parte Novena de las Especificaciones Generales de Construcción de la Secretaría de Obras Públicas (Ref. 9).

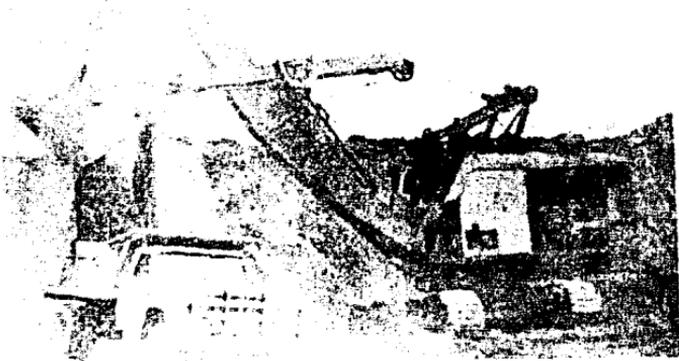


Fig. 8.1



### III.2 PROPIEDADES FISICAS DE LOS AGREGADOS

Las propiedades físicas que deben reunir los materiales pétreos para cumplir con las Especificaciones de la Secretaría de Obras Públicas son:

#### 1.- Granulometría.

La composición granulométrica representa, gráfica o numericamente, la distribución de los diferentes tamaños de las partículas que componen el material, lográndose en esta forma una mayor estabilidad del material al reducir al mínimo la cantidad de vacíos, ya que, los huecos dejados por las partículas mayores son ocupados por partículas de menor tamaño y los huecos que dejen estas últimas se logren acomodar partículas más finas y así sucesivamente. Sin embargo, aunque se presente una graduación correcta, es necesario determinar el porcentaje de partículas cuya forma corresponda a laja o aguja ya que éstas formarán una gran cantidad de huecos.

En casos en que la granulometría del material pétreo producto de la trituración no es satisfactoria, es necesario agregar un material que corrija los defectos de la curva granulométrica. La mezcla resultante debe satisfacer los requisitos de granulometría para el fin a que será destinada.

Hay dos métodos para determinar las proporciones de los diversos tamaños de partículas de los agregados: tamizado por vía seca y análisis granulométrico por vía húmeda.

#### a) Tamizado por vía seca.

Se agita una cantidad pesada de áridos perfectamente secos sobre una serie de mallas con aberturas cuadradas (Fig. 3.3). Las mallas están unidas de forma que el de mayor abertura está en la parte superior, y los de aberturas sucesivamente más pequeñas están situadas debajo. Bajo la última malla se coloca una charola que recoge todo el material que pasa a través de él. La agitación se aplica normalmente con aparatos automáticos.

Posteriormente, se determina el peso del material retenido en cada malla y se expresa como porcentaje del peso de la muestra original. Se acostumbra representar estos datos por medio de una curva dibujada en —

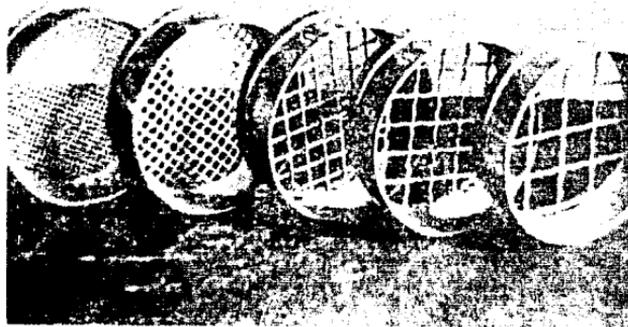


Figure 1. Sieves of different mesh sizes.

una gráfica que tenga por abscisas a escala logarítmica, la abertura de las mallas y por ordenadas los porcentajes de material que pasa por dichas mallas a escala aritmética.

Las mallas utilizadas en carpetas asfálticas son: 1", 3/4", 1/2", - 3/8", 1/4", Núm. 4, Núm. 10, Núm. 20, Núm. 40, Núm. 60, Núm. 100, Núm. - 200.

b) Análisis granulométrico por vía húmeda.

Se realiza mediante el hidrómetro en partículas de suelo menores de 0.074 mm, es decir, aquellas que pasan la malla Núm. 200.

Es un procedimiento de sedimentación que se basa en el siguiente principio: en un líquido menos denso que el suelo, las partículas de suelo de la misma densidad se asentarán a través del líquido con velocidades proporcionales a sus tamaños. Este principio está expresado por la ley de Stokes, que da la velocidad de caída de una pequeña esfera en un líquido viscoso. Mediante el hidrómetro determinamos la variación de la densidad de la suspensión suelo-agua, para diferentes tiempos y medimos la altura de caída de los granos de tamaño más grande correspondientes a la densidad media. La lectura hecha con el hidrómetro mide la densidad media de la suspensión a la altura del bulbo de éste y con ella se puede determinar directamente el porcentaje en peso de las partículas de suelo, con relación a la concentración original a este nivel.

2.- Resistencia al Desgaste.

Para que los áridos gruesos se conduzcan de modo satisfactorio en un pavimento, es necesario que tengan suficiente resistencia para sufrir la acción del apisonado durante la construcción y la acción del tráfico, sin romperse por efectos de las cargas que se les impone.

3.- Estabilidad.

La estabilidad de la mezcla depende de la resistencia interna de los agregados (tamaño de las partículas, forma, distribución granulométrica) y de la cohesión (pétreo-asfalto).

Las piedras que se disgregan en proporción importante bajo la acción de los agentes atmosféricos se llaman inestables (pizarras, esquistas).

#### 4.- Grado de limpieza.

Esta propiedad casi es obvia pero a pesar de ello es muy importante debido a que cualquier agregado está expuesto a impurezas y contaminación por materiales como la materia orgánica, pizarra, partículas — blandas, masas de arcilla y revestimiento de arcilla de las partículas gruesas.

El grado de limpieza de un agregado puede determinarse a veces por observación visual o bien por un cribado o el ensayo denominado Equivalente de Arena el cual describiremos posteriormente.

#### 5.- Fricción Interna.

Todos los agregados al estar sometidos a una carga o fuerza del tipo deslizante ofrecen resistencia en mayor o menor grado al desplazamiento; esta propiedad de impedir el movimiento relativo de las partículas del agregado se llama fricción o rozamiento interno. El basalto triturado y la buena piedra caliza son agregados de alta fricción interna y como materiales de poco valor de fricción interna tenemos los granos no partidos, redondos y de superficie suave.

#### 6.- Contracción Lineal.

Esta propiedad es importante ya que nos indica indirectamente el contenido de arcilla, ya que la presencia de ésta en el material pétreo para carpetas afecta provocando una baja adherencia del asfalto así como el debilitamiento de la carpeta en presencia del agua. Podemos decir que la contracción lineal es una medida indirecta de la plasticidad.

#### 7.- Propiedades externas del agregado.

Las superficies de los áridos varían considerablemente en su afinidad por los asfaltos. Los áridos que tienen gran afinidad por el asfalto se llaman "hidrófobos" y son esencialmente de naturaleza caliza, por ejemplo el basalto, caliza y dolomita. Los áridos que son difíciles de envolver con asfalto y de los que éste se separa con facilidad, se llaman hidrófilicos y son los que provienen de naturaleza silíceas, por ejemplo la cuarcita.

Las fallas encontradas en los pavimentos asfálticos debidas a falta de adherencia entre el agregado pétreo y el asfalto obedecen, en la-

mayor parte de los casos, a la introducción del agua en la carpeta asfáltica. Si la superficie de agregado, presenta mayor afinidad al agua que el asfalto, la primera es atraída hacia la superficie de la partícula, - desalojando la película de asfalto, quedando destruida la adherencia existente entre ambos materiales, que es necesaria para darle estabilidad a la carpeta.

A continuación mencionaremos algunas recomendaciones para mejorar la adherencia entre el agregado pétreo y el asfalto:

a) La falta de adherencia entre asfalto y agregado, puede ser debida a la presencia de una película de polvo adherida a la partícula de material pétreo, que impide el contacto de ésta con el asfalto. En este caso la práctica recomienda el lavado del material pétreo para desprenderle la partícula de polvo y efectuar las pruebas después de este proceso.

b) En algunos casos los materiales pétreos, presentan superficies - sumamente lisas y redondas como el caso de las gravas de río, que no tienen una buena adherencia con el asfalto. En este caso conviene investigar si por medio de la trituración se logra obtener nuevas superficies - que tengan buena adherencia, de tal manera que, se pueda disminuir el porcentaje total de superficie de baja adherencia.

c) En algunos tipos de materiales la adherencia es diferente según se trate del tipo de asfalto. Por lo que habrá que estudiar la adherencia del material pétreo con los diferentes tipos de asfaltos para utilizar en forma óptima los materiales, escogiendo los que entre sí tengan una mejor adherencia así por ejemplo sustituyendo un cemento asfáltico - por un rebajado de fraguado rápido, o bien cambiando un asfalto rebajado de fraguado rápido a uno de fraguado medio.

d) Con el empleo de aditivos se puede mejorar la adherencia de la película de asfalto, cuando en su estado natural, los materiales pétreos no presentan una buena adherencia. Existen diferentes productos elaborados para este fin, por lo que es conveniente efectuar pruebas comparativas con estos productos para seleccionar el que dé mejores resultados.

e) Con algunos materiales que presentan una mala adherencia, se puede mejorar ésta, aplicando cal hidratada o una lechada de cal, al material pétreo.

f) Durante el estudio del material pétreo, puede suceder que una --

parte de éste, presente una baja adherencia con el asfalto, por lo que se deberá estudiar la posibilidad de separar por cribado el material inadecuado y sustituirlo por uno que tenga buena adherencia. Un ejemplo de este caso puede ser la grava de río, en la que la fracción que pasa la malla de 1/4", está constituido por material hidrófilo, el que por cribado puede ser eliminado y sustituido por una arena de buena calidad.

### III.3 PRUEBAS DE LABORATORIO DE MATERIALES PETREOS

Se describirá brevemente algunos ensayos que se realizan a los materiales pétreos para carpetas asfálticas, de tal modo que si se quiere conocer con más detalle estas pruebas, se puede recurrir a la Parte IX, — Capítulo CX, de las Especificaciones Generales de Construcción (Ref. 9).

#### 1) Prueba de Desgaste de los Angeles.

Esta prueba sirve para darse idea del comportamiento de los materiales, bajo la acción del tránsito, bajo los efectos abrasivos y de choque.

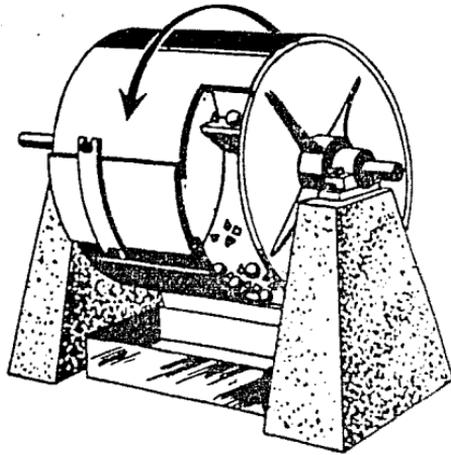
En este ensayo, la muestra original de material deberá lavarse para eliminar el polvo que lleven adherido las partículas y secarse en el horno para después cribarse a través de las mallas de 3", 2 1/2", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", n.º. 4, n.º. 8 y n.º. 12. Una vez pesada la muestra ( $P_i$ ), la cual tendrá una granulometría lo más semejante a la graduación propuesta para la carpeta asfáltica se colocará dentro de un tambor de acero (Fig. 3.4), juntamente con un agente abrasivo, compuesto de pequeñas esferas de acero y se hace girar el tambor a una velocidad constante el número prescrito de revoluciones; a continuación se sacará la muestra de la máquina y se lavará a través de la malla número 12. El retenido sobre la malla se secará en el horno y se pesará ( $P_f$ ).

La pérdida por desgaste se determinará por medio de la siguiente fórmula:

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

$P_i$  = peso original de la muestra

$P_f$  = peso final de la muestra después de sometida a la prueba de desgaste



**Fig. 3.4 PRUEBA DE DESGASTE DE LOS ANGELES**

## 2) Prueba del Equivalente de Arena.

Este ensayo, desarrollado por el Departamento de Carreteras de California, indica la proporción relativa de polvo fino o materiales arcillosos perjudiciales contenidos en los agregados. El ensayo se aplica a la fracción que pasa por la malla número 4.

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 (estabilizante), y formaldehído (evita el desarrollo de organismos) 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 100.

## 3) Pérdida 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 de intemperismo existentes en la región o bien cuando se tengan dudas acerca de la calidad del material que pretende emplearse en la elaboración de carpetas asfálticas.

En el laboratorio, se le añade al material pétreo seco y con cierta granulometría, sulfato de sodio o magnesio, para lograr una alteración similar a la que ocasionan los efectos atmosféricos; la muestra se dejaturar 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 5 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, siendo el resultado de la prueba, la pérdida total por intemperismo acelerado del material retenido en la malla Número 4 expresada como porcentaje en peso de la muestra original retenida en esta misma malla.

## 4) Prueba de Contracción lineal.

La contracción lineal de un suelo, es la reducción del volumen del mismo, medida en sus dimensiones y expresada en por ciento de la dimensión original, cuando la humedad se reduce desde el límite líquido, a la del límite de contracción, correspondiendo este límite de contracción, - al contenido de agua para el cual el suelo alcanza su máxima contracción.

$$C.L. = \frac{(L_1 - L_2) \times 100}{L_1}$$

En el cual:

C.L. = Por ciento de contracción lineal, con respecto a la longitud original de la barra de suelo húmedo.

$L_1$  = Longitud del molde o sea, de la barra de suelo húmedo.

$L_2$  = Longitud de la barra de suelo seco.

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 pase del agua durante la temporada de lluvias, disminuyendo considerablemente el poder soportante de los suelos, llegando a provocar fallas de trascendencia.

## 5) Prueba de afinidad entre el material pétreo y el asfalto.

## a) Prueba de desprendimiento por fricción.

El resultado de esta prueba se cuantifica por inspección visual teniendo como testigo un material, que halla probado tener buena adherencia con el asfalto como el basalto y la caliza.

La muestra que se va a ensayar se somete a la acción del agua, dejándola en reposo 24 horas. Si el desprendimiento del asfalto es de consideración, el material puede clasificarse como altamente hidrófilo. Si no ha ocurrido un desprendimiento apreciable de la película de asfalto, la muestra deberá agitarse por 3 periodos de 5 minutos cada uno, debiendo ser examinada la muestra después de cada periodo. Si no se nota desprendimiento ligero comparable al del testigo, puede considerarse que el mate

rial trabajará satisfactoriamente en las condiciones ordinarias de uso, y se clasificará como de "adherencia normal con el asfalto". En caso contrario, se considerará al material pétreo una adherencia "regular" o "baja", de acuerdo con el desprendimiento ocurrido.

b) Pérdida de estabilidad por inmersión en agua.

En la determinación de la pérdida de estabilidad por inmersión de la muestra en agua durante 4 días, se observa el efecto de ésta última sobre la mezcla asfáltica. Este efecto es medido por la pérdida de estabilidad sufrida, con relación a la de una muestra elaborada en las mismas condiciones y que sirve de testigo para probarse a la compresión (sin confinar), sin haber estado sujeta a la acción del agua. Si la pérdida de estabilidad es menor de 25 por ciento, puede considerarse que el comportamiento de la mezcla asfáltica en el camino va a ser satisfactorio.

### III.4 ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES PÉTREOS

Los materiales pétreos para carpetas asfálticas elaboradas por el sistema de mezcla en el lugar y planta estacionaria, deberán satisfacer las siguientes normas (Ref. 8):

a) De Granulometría.

1. Para mezcla en el lugar.

La curva granulométrica del material pétreo para mezclas en el lugar deberá de cumplir con lo que indique el proyecto en cada caso, y en términos generales, deberá quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el límite superior de la zona 3, de la figura 3.5. La zona 1, corresponde a materiales pétreos de granulometría gruesa y la zona 3, a materiales pétreos de granulometría fina. La curva granulométrica del material pétreo, deberá afectar una forma semejante a la de las curvas que limitan las zonas por lo menos en las dos terceras partes de su longitud, sin presentar cambios bruscos de pendiente.

2. Para concretos asfálticos.

La curva granulométrica del material pétreo para concretos asfálticos, en términos generales deberá quedar comprendida en la zona 2 limitada por las dos curvas centrales de la figura, en cada caso el proyecto --

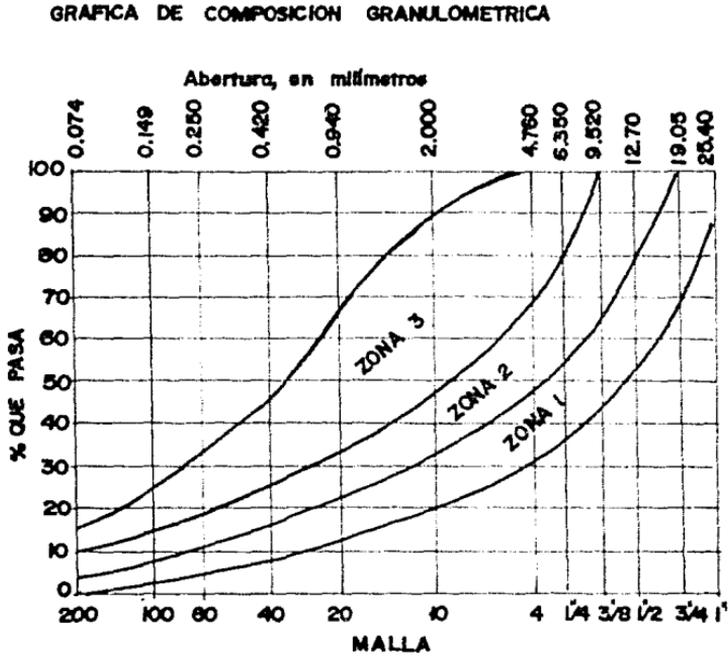


Fig. 3.5 PRUEBAS EN LA MEZCLA ASFALTICA

señalará la granulometría correspondiente de acuerdo con los requisitos fijados en el diseño de la mezcla.

El tamaño máximo del agregado deberá ser menor de  $2/3$  partes del espesor de la carpeta.

b) De desgaste.

1. Con la Máquina Deval

Para roca en trozos 6% Máximo

Para agregados graduados:

Grava sin partículas trituradas 10% Máximo

Grava o roca triturada 20% Máximo

2. Con la Máquina de los Angeles

Para cualquier tipo de agregado 40% Máximo

c) De Contracción lineal.

1. Cuando la curva granulométrica del material pétreo quede ubicada en la zona 1 de la figura. 3% Máximo.

2. Cuando la curva granulométrica del material pétreo quede ubicada en la zona 3 de la figura. 2% Máximo.

3. Material Pétreo para concretos asfálticos. 2% Máximo.

d) De intemperismo acelerado. 12% Máximo.

e) De forma de las partículas.

Partículas alargadas y/o en forma de laja, 35% Máximo.

f) Equivalente de Arena. 55% Mínimo.

g) De afinidad con el Asfalto

1. Desprendimiento por fricción. 25% Máximo.

2. Pérdida de estabilidad por inmersión en agua. 25% Máximo.

## CAPITULO IV

DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS

### Objetivos.

Ya una vez estudiado los materiales principales que forman la carpeta asfáltica, procederemos a su diseño, siendo el objetivo primordial de este capítulo. Se analizará el proporcionamiento adecuado de cemento asfáltico y material pétreo, tanto para mezcla en el lugar como en planta estacionaria, llegando a entender que una mala mezcla da lugar a que las obras resulten defectuosas, provocando fallas en el pavimento y como consecuencia pérdidas económicas.

### Generalidades.

En la elaboración de mezclas asfálticas para la construcción de una carpeta, se realizan pruebas de laboratorio (Ref. 9) para determinar el contenido de cemento asfáltico que el material pétreo requiere para que la mezcla tenga las mejores características de resistencia y durabilidad. A este contenido se le acostumbra llamar contenido óptimo de cemento asfáltico del material pétreo, reportándolo el laboratorio como un porcentaje en peso respecto al material pétreo y a partir de este dato podemos obtener, si la mezcla es en el lugar, las cantidades de asfalto rebajado o de emulsión asfáltica que es necesario aplicarle al material en la obra.

Las mezclas que se realicen ya sea en planta o en la obra, deben tener el contenido óptimo de cemento asfáltico, ya que de lo contrario pueden presentarse dos casos:

1° Si la cantidad que se aplica es escasa, dejando un elevado número de vacíos, se pueden producir deterioros prematuros en la mezcla debido a que las partículas del material no quedan totalmente cubiertas por la película de cemento asfáltico, lo que propicia su desgranamiento o desprendimiento favoreciendo la acción perjudicial del agua y del tránsito, provocando el endurecimiento del asfalto tornando a la carpeta quebradiza.

2° Si por el contrario, la cantidad de asfalto aplicada resulta excesiva respecto al contenido óptimo, se presentan problemas de reblandecimientos en la mezcla, resistencias bajas, llovamientos de asfalto, provocando que se formen surcos u ondulaciones.

De acuerdo a lo anterior, es de gran importancia agregar siempre al material pétreo la cantidad correcta de asfalto, para evitar fallas prematuras en la mezcla asfáltica que reduzcan su duración, ocasionen problemas al tránsito y originen desperdicios de recursos.

#### IV.1 METODOS DE DISEÑO

Los métodos de diseño de mezclas asfálticas en el laboratorio, exigen que se determine la estabilidad de probetas compactadas, preparando cierto número de mezclas con contenidos crecientes de asfalto. La forma de preparar y compactar las mezclas depende del método de ensayo empleado. Los cuatro que se usan con mayor frecuencia son: Método Marshall, Hubbard Field, Hveem, Triaxial de Smith.

A continuación describiremos brevemente las pruebas que se realizan para obtener el contenido óptimo de cemento asfáltico para mezcla en el lugar, así como el método Marshall para mezclas asfálticas hechas en planta estacionaria en caliente, utilizando cemento asfáltico.

##### a) Mezcla en el lugar.

###### 1. Contenido óptimo de asfalto.

Para las mezclas asfálticas elaboradas en el lugar utilizando asfaltos rebajados, el contenido óptimo de cemento asfáltico se determina por Pruebas de Compresión sin Confinar (Ref. 9), que consiste en elaborar en el laboratorio mezclas del material pétreo que va a utilizarse en la obra, con diferentes cantidades de asfalto rebajado, en forma de tener distintos porcentajes de cemento asfáltico, empezando con cantidades bajas y dando incrementos de 0.5 ó 1% en peso del material pétreo.

Con esas mezclas se elaboran 6 especímenes en moldes de 4" de diámetro interior y 7" de altura cuando el tamaño máximo del agregado es menor de 3/8", y de 5" de diámetro interior y 8.5" de altura cuando el tamaño máximo del agregado es mayor de 3/8". La compactación de los especímenes se lleva a cabo por dos procedimientos: si los materiales son angulosos se recomienda la compactación por impactos mediante golpes de un pisón de 2.5 Kg. de peso, en caso contrario la compactación se realiza por aplicación de carga estática dando una presión de 40 Kg/cm<sup>2</sup> en la máquina de compresión para los especímenes de 4" de diámetro.

Los especímenes elaborados se prueban a la compresión sin confinar, aplicando la carga uniforme y lentamente hasta alcanzar la ruptura. En un sistema de ejes coordenados se dibuja la curva Resistencias en Kg/cm<sup>2</sup> - Porcentajes en peso de cemento asfáltico, la cual adopta una forma similar a la indicada en la figura 4.1.

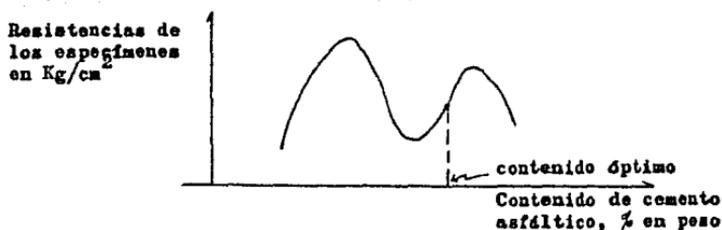


Fig. 4.1 DETERMINACION DEL CONTENIDO OPTIMO DE ASFALTO

La curva presenta 2 máximos y el contenido óptimo de cemento asfáltico se toma de una manera empírica, pero que ha dado buenos resultados en la práctica, a la mitad de la rama ascendente de la curva correspondiente al segundo máximo. Las mezclas con el contenido óptimo de cemento asfáltico seleccionado en esta forma, se observan en el laboratorio bien cubiertas y en el campo han manifestado buen comportamiento, cuando desde luego se elaboran y colocan siguiendo los procedimientos de construcción que la técnica aconseja. El detalle de las pruebas para la determinación del contenido de cemento asfáltico, puede consultarse en la Parte Novena de las Especificaciones Generales de Construcción de la Secretaría de Obras Públicas (Ref. 9).

## 2. Cálculo de Asfalto Rebajado o Emulsión Asfáltica.

Una vez obtenido el contenido óptimo de cemento asfáltico que se obtuvo en el laboratorio se procederá a calcular las cantidades de asfalto rebajado o emulsión asfáltica que deben incorporarse al material pétreo suelto en la obra, en litros por metro cúbico (lts/m<sup>3</sup>). Con este objeto se calcula primeramente el % óptimo de asfalto rebajado en peso, suponiendo que vamos a emplear este producto, a partir del % óptimo de cemento asfáltico en peso que dieron las pruebas de laboratorio y luego, el % óptimo de asfalto rebajado en volumen, que es el valor que nos permite calcular los litros/m<sup>3</sup> que requiere el material pétreo. Se emplea para estas 2 fórmulas siguientes:

$$\% \text{ en peso de asfalto rebajado} = \frac{\% \text{ en peso de cemento asfáltico}}{\text{Proporc. de cem. asf. en rebaj. (decimal)}} \dots(1)$$

$$\% \text{ en volumen de asfalto rebajado} = \frac{\% \text{ en peso de asfalto rebajado}}{P_{va}} \times P_{vp} \dots (II)$$

para que la fórmula (II) resulte homogénea, el peso volumétrico del asfalto rebajado,  $P_{va}$ , y el peso volumétrico del material pétreo,  $P_{vp}$ , deben estar en las mismas unidades.

Con ayuda de la figura 4.2 que muestra una mezcla asfáltica con todos sus componentes iniciales, deduciremos las fórmulas (I) y (II).

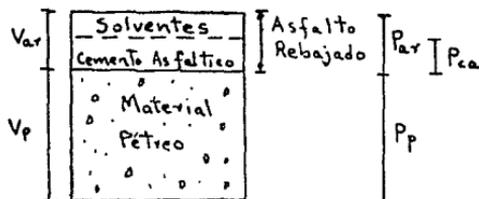


Fig. 4.2 ESQUEMA DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CON REBAJADO, MOSTRANDO SUS COMPONENTES INICIALES COMPLETOS

Si designamos:

$P_{ar}$  = Peso del asfalto rebajado

$V_{ar}$  = Volumen del asfalto rebajado

$P_{ca}$  = Peso del cemento asfáltico

$P_{va}$  = Peso volumétrico del asfalto rebajado

$P_p$  = Peso del material pétreo

$V_p$  = Volumen del material pétreo

$P_{vp}$  = Peso volumétrico del material pétreo

Por definición de por ciento en peso, podemos poner:

$$\% \text{ en peso de asfalto rebajado} = \frac{P_{ar}}{P} \times 100$$

Multiplicando los dos términos de este quebrado por el peso del cemento asfáltico,  $P_{ca}$ , contenido en la mezcla, tenemos:

$$\% \text{ en peso de asfalto rebajado} = \frac{P_{ar} \times P_{ca}}{P_p \times P_{ca}} \times 100 = \frac{\frac{P_{ca}}{P_p} \times 100}{\frac{P_{ca}}{P_{ar}}}$$

El numerador de la última expresión es el por ciento en peso del cemento asfáltico y el denominador es la proporción de cemento asfáltico en el asfalto rebajado, expresada en forma de fracción decimal. (Los porcentajes de asfalto rebajado, de cemento asfáltico o de emulsión, en peso o volumen, que se emplean en todos estos cálculos son con relación al peso o volumen, respectivamente, del material pétreo). Por tanto de la última expresión:

$$\% \text{ en peso de asfalto rebajado} = \frac{\% \text{ en peso de cemento asfáltico}}{\text{Proporc. de cem. asf. en el rebajado (decimal)}}$$

De igual manera, para demostrar la fórmula (II)

Por definición de por ciento en volumen:

$$\% \text{ en volumen de asfalto rebajado} = \frac{V_{ar}}{V_p} \times 100$$

Como  $V_{ar} = \frac{P_{ar}}{P_{va}}$  y  $V_p = \frac{P_p}{P_{vp}}$ , substituyendo y arreglando términos-

en la expresión anterior, se tiene:

$$\% \text{ en vol. de asfalto rebajado} = \frac{\frac{P_{ar}}{P_{va}}}{\frac{P_p}{P_{vp}}} \times 100 = \frac{P_{ar} \times 100}{P_{va} \times P_p} \times P_{vp}$$

$$\% \text{ en vol. de asfalto rebajado} = \frac{\frac{P_{ar}}{P_p} \times 100}{P_{va}} \times P_{vp}$$

El numerador de la fracción anterior representa el % en peso de asfalto rebajado, resultando:

$$\% \text{ en vol. de asfalto rebajado} = \frac{\% \text{ en peso de asfalto rebajado}}{P_{va}} \times P_{vp}$$

quedando demostrada la fórmula (II).

A continuación se mostrará un ejemplo de manera que se apliquen las fórmulas anteriores a un problema práctico de campo.

Ejemplo:

En un tramo de 200 m de un camino se pretende construir una carpeta de mezcla en el lugar de 7.0 cm de espesor, compactada al 95%, en un ancho terminado de 7.00 m. Para hacer la mezcla se empleará una gravarona con tratamiento de trituración parcial a tamaño máximo de 3/4", la cual, según ensayos de laboratorio, tiene un peso volumétrico seco suelto, llamémoslo P.V.S.S. mat., de 1 500 Kg/m<sup>3</sup> y un contenido óptimo de cemento asfáltico, determinado en pruebas de compresión sin confinar de 6.0% en peso. La mezcla será elaborada con asfalto rebajado del tipo FR-3, el cual tiene un contenido de 65% en peso de cemento asfáltico y un peso específico de 1.0 Kg/dm<sup>3</sup>. El peso volumétrico máximo de la mezcla en el laboratorio, P.V. Máx. mezcla fue de 2 200 Kg/m<sup>3</sup>.

Se pide la cantidad de litros de asfalto FR-3 que debe aplicarse al material pétreo en el tramo de 200 m, para construir la carpeta.

Resolución:

Necesitamos conocer el volumen en m<sup>3</sup> de material pétreo suelto en la longitud del tramo y el % en volumen de asfalto rebajado, de manera que — multiplicando estas dos cantidades obtengamos el volumen en m<sup>3</sup> y luego los litros por regar de asfalto FR-3.

Determinación del volumen de material pétreo suelto.— La sección transversal de la carpeta compactada, es la que se muestra en la figura 4.3:

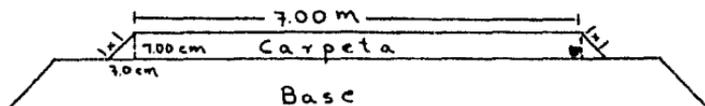


Fig. 4.3

El volumen de la mezcla compactada a 95%, en los 200 m de longitud del tramo, será:

$$\text{Vol. carpeta compactada} = 0.07 \times \frac{7.0 + 7.14}{2} \times 200 = 98.98 \text{ m}^3$$

A partir de este volumen de la mezcla compactada, tenemos que calcular el volumen de material suelto en los 200 m, para lo cual es necesario determinar el coeficiente de variación volumétrica de material pétreo compactado a material pétreo suelto. Esto podemos hacerlo aplicando relación de pesos volumétricos, o sea:

$$C_v(\text{mat. pétreo comp.} - \text{mat. pétreo suelto}) = \frac{P_v \text{ mat. pétreo compactado}}{P.V.S.S. \text{ mat.}}$$

El peso volumétrico del material pétreo compactado se puede obtener a partir del peso volumétrico de la mezcla compactada, en la misma forma que se obtiene el peso volumétrico seco en el lugar en un sondeo de compactación de una base hidráulica, por ejemplo, solo que en este caso el peso volumétrico del material húmedo en el sondeo se puede asimilar al peso volumétrico de la mezcla asfáltica compactada y el % de agua, al % en peso de cemento asfáltico.

Es decir:

$$P_v \text{ mat. pétreo compactado} = \frac{P_v \text{ mezcla compactada}}{1 + \% \text{ en peso cem. asf. (decimal)}}$$

De acuerdo a los datos que se tienen:

$$P_v \text{ mat. pétreo compactado} = \frac{0.95 \times 2 \ 200 \text{ Kg/m}^3}{1 + 0.06} = \frac{2 \ 090}{1.06} = 1 \ 972 \text{ Kg/m}^3$$

Entonces:

$$C_v(\text{mat. pétreo comp.} - \text{mat. pétreo suelto}) = \frac{1 \ 972 \text{ Kg/m}^3}{1 \ 500 \text{ Kg/m}^3} = 1.31$$

El volumen del material pétreo suelto en el tramo, será entonces:

$$\text{Vol. mat. pétreo suelto} = 98.98 \text{ m}^3 \times 1.31 = 129.66 \text{ m}^3$$

#### Determinación del % en volumen de asfalto rebajado FR-3

De la fórmula (I), tenemos:

$$\% \text{ en peso de asf. rebajado} = \frac{6.0\%}{0.65} = 9.23\%$$

Aplicando la fórmula (II)

$$\% \text{ en vol. de asfalto rebajado} = \frac{9.23}{1.0} \times 1.5 = 13.84\%$$

El volumen de asfalto FR-3 por regar en los 200 m del tramo será entonces:

$$129.66 \text{ m}^3 \times 0.1384 = 17.94 \text{ m}^3 = 17\ 940 \text{ litros}$$

$$\text{es decir, } \frac{17\ 940 \text{ lt}}{12\ 966 \text{ m}^3} = 138 \text{ l/m}^3$$

## b) Mezcla en Caliente.

### 1. Método Marshall.

Este método, cuyos conceptos fueron formulados por Bruce Marshall y que fueron mejorados y ampliados por el Army Corps of Engineers de los Estados Unidos, es el más utilizado en México y está limitado al proyecto y control de elaboración de mezclas asfálticas hechas en planta en caliente y utilizando cemento asfáltico (Ref. 9).

El ensayo Marshall puede emplearse para proyecto en laboratorio y comprobación en obra de las mezclas que contienen cemento asfáltico y áridos cuyo tamaño máximo no exceda de 1".

Para determinar el contenido óptimo de asfalto por este método, se preparan una serie de probetas de 2 1/2" (6.35 cm) de espesor y 4" (10 cm) de diámetro, conteniendo mezclas del material pétreo que va a utilizarse en la obra, con diferentes contenidos de asfalto, dando incrementos de 0.5%, calculado sobre la base del contenido mínimo de asfalto que se determina por el método explicado en el inciso 112-4 de la Parte Novena, de las Especificaciones Generales de Construcción, el cual se expone al final de este capítulo (inciso IV.4).

Para obtener resultados adecuados en los ensayos, se elaborarán 3 especímenes por cada contenido de asfalto, cada uno de los cuales requiere aproximadamente 1 200 gramos de agregado pétreo, de tal manera que se promediarán los valores de los 3 especímenes debiendo desecharse para el cálculo el valor que discrepe notablemente.

Ya una vez obtenidas las mezclas se emplean 50 golpes en ambos lados de la probeta para la compactación de mezclas de pavimentación proyectadas para un tráfico cuya presión de inflado sea de 100 lb/in<sup>2</sup> (7.03 Kg/cm<sup>2</sup>), para presiones de inflado de 200 lb/in<sup>2</sup> (14.06 Kg/cm<sup>2</sup>) se emplean 75 golpes.

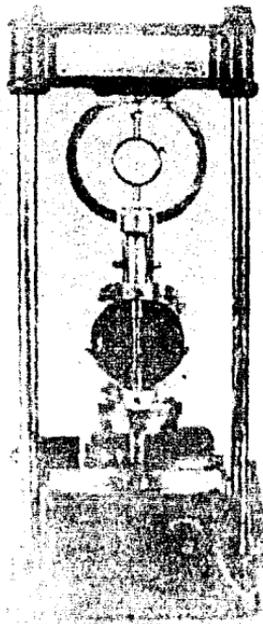


FIG. 1. — WITH MARCH 12.

De cada probeta compactada se determinan en el aparato Marshall (Fig. 4.4):

- a) los valores de estabilidad y flujo de la siguiente forma: se aplica a la probeta la carga de manera que se produzca una deformación a velocidad constante de 50 mm por minuto hasta que se produzca la falla. La carga máxima aplicada para producir la falla del espécimen a la temperatura de 60°C, se deberá registrar como el valor de estabilidad Marshall. Mientras la prueba se lleve a efecto se deberá sostener firmemente el medidor de flujo sobre el poste guía y se removerá tan pronto como se haya aplicado la carga máxima, anotándose la deformación sufrida por el espécimen. Esta lectura en milímetros expresa el valor de flujo. El valor de estabilidad expresa la resistencia estructural de la mezcla compactada y está afectada principalmente por el contenido de asfalto, la composición granulométrica y tipo de agregado; el valor del flujo representa la deformación requerida en el sentido del diámetro del espécimen para producir su fractura. Este valor es una indicación de la tendencia para alcanzar una condición plástica y consecuentemente de la resistencia que ofrecerá la carpeta a deformarse bajo la acción de las cargas que por ella transiten.
- b) el peso volumétrico del espécimen de acuerdo con el procedimiento indicado en el inciso 112-12.2a de las Especificaciones Generales de Construcción (Ver el final de este capítulo).
- c) Se calculará la densidad teórica máxima y el porcentaje de vacíos para cada contenido de asfalto, por el procedimiento indicado en la cláusula 112-12.2b de las Especificaciones Generales de Construcción, el cual se expone al final de este capítulo.
- d) El porcentaje de vacíos ocupados por asfalto, de acuerdo con la siguiente fórmula y cuya deducción se explica al final de este capítulo.

$$V_o = \frac{\text{Voldmen de asfalto}}{\text{Voldmen total de huecos}} \times 100$$

Se dibujarán las gráficas siguientes (Fig. 4.5):

Peso volumétrico - contenido de asfalto

Estabilidad - contenido de asfalto

Flujo - contenido de asfalto

Porcentaje de vacíos - contenido de asfalto

Huecos ocupados por asfalto ( $V_o$ ) - contenido de asfalto

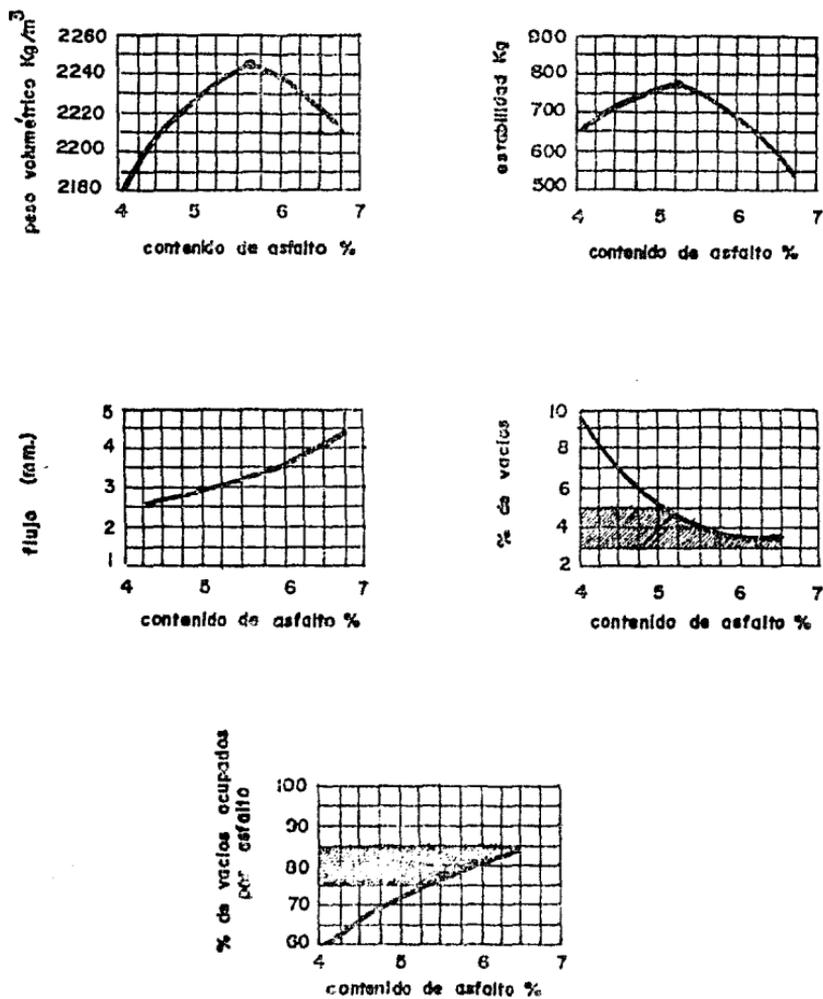


Fig. 4.5 GRAFICAS PARA CADA CANTIDAD DE ASFALTO ELABORADA EN PROBETAS

Se ha encontrado que las curvas que representan las propiedades de las mezclas asfálticas son en general bastante semejantes unas a otras. Las características que se estudian normalmente son las siguientes:

- a) La estabilidad crece con el contenido de asfalto hasta un máximo después del cual disminuye.
- b) El flujo aumenta con contenidos de asfalto crecientes.
- c) La curva correspondiente al peso volumétrico de la mezcla total es análoga a la curva de estabilidad, salvo que en general (pero no siempre) el contenido de asfalto correspondiente al peso volumétrico máximo es ligeramente superior al correspondiente a la estabilidad máxima.
- d) El porcentaje de huecos de la mezcla total disminuye con contenidos crecientes de asfalto, aproximándose finalmente a un mínimo.
- e) El porcentaje de huecos de los áridos rellenos de asfalto aumenta con contenidos crecientes de asfalto, aproximándose finalmente a un máximo.

#### Contenido Óptimo de Asfalto.

El contenido óptimo de asfalto de la mezcla se determina a partir de los datos obtenidos conforme quedó asentado anteriormente. Para realizar esta determinación se toma el promedio de los contenidos de asfalto correspondientes:

- a) Al máximo peso volumétrico.
- b) A la máxima estabilidad.
- c) Al valor medio de los límites fijados para el por ciento de vacíos ocupados por el asfalto.
- d) Al valor medio de los límites fijados para el por ciento de vacíos.

El promedio de los valores anteriores es el contenido óptimo de asfalto que como último requisito, debe corresponder a un flujo menor del límite máximo fijado para el caso, si esto no sucede, deberán repetirse los ensayos. La mezcla asfáltica elaborada con el contenido óptimo de asfalto, debe reunir los requisitos que se expresan en la tabla 4.1.

En la práctica se ha observado que este contenido óptimo es del orden de 5% al 6% respecto al peso de los materiales pétreos. Mayores porcentajes deben conducir a un estudio y análisis cuidadoso del diseño de la mezcla, antes de su aceptación definitiva.

Selección del Proyecto.- Por lo general el proyecto seleccionado es

	TIPO DE MEZCLA	Presión de contacto de las lapas	
		7 Kg/cm <sup>2</sup>	14 Kg/cm <sup>2</sup>
Estabilidad		225 Kg/mín	450 Kg/mín
Flujo		4 mm máx	5 mm máx
Por ciento de vacíos	Con agregados de tamaño máximo de 19.05 mm (3/4")	3-5	3-5
	Con agregados de tamaño máximo de 6.35 mm (1/4")	5-7	6-8
Por ciento de huecos ocupados por asfalto	Con agregados de tamaño máximo de 19.05 mm (3/4")	75-85	75-82
	Con agregados de tamaño máximo de 6.35 mm (1/4")	65-75	65-72

Tabla 4.1

el más económico entre los que cumplen satisfactoriamente todas las especificaciones dadas. Normalmente se elige la mezcla con mayor estabilidad.

De ordinario, son poco deseables las mezclas con valores de estabilidad demasiado altos y valores de flujo anormalmente bajos, porque los pavimentos contruidos con ellos tienden a hacerse rígidos o quebradizos y pueden agrietarse bajo los efectos de las cargas pesadas. Esto se incrementa cuando las deformaciones de las capas inferiores de sub-base, base y terracerías son de tal magnitud que permiten deformaciones en la carpeta.

En casos extremos en la elaboración de mezclas asfálticas en caliente, podría permitirse una tolerancia de 1% de vacíos y 5% de vacíos ocupados por el asfalto, sobre los valores expresados en la tabla 4.1, pero en ningún caso debe excederse el valor permisible de flujo, ni admitirse valores de estabilidad inferiores a los indicados.

Se ha observado en la práctica que elaborando las mezclas con contenidos de cemento asfáltico en una cantidad menor en 0.5% al 1% al óptimo determinado con la prueba Marshall, se obtienen resultados que generalmente satisfacen las especificaciones de la tabla 4.1.

#### IV.2 METODO DE HVEEM

El método de Hveem para proyecto y comprobación de mezclas asfálticas comprende los tres ensayos principales siguientes (Ref. 9):

- 1) Ensayo del estabilómetro.
- 2) Ensayo del cohesímetro.
- 3) Ensayo del equivalente centrífugo en queroseno (CKE).

Los ensayos del estabilómetro y del cohesímetro son aplicables a mezclas que contengan cemento asfáltico o asfaltos líquidos y áridos cuyo tamaño máximo no exceda de 1". Las probetas de 2 1/2" (6.35 cm) de altura y 4" (10 cm) de diámetro se compactan por procedimientos normalizados en un compactador por amasado.

Se determina la densidad y huecos de la probeta compactada, que se calienta después a 80°C y que se somete a ensayo en el estabilómetro de Hveem. Este ensayo es un tipo de ensayo triaxial en el que se aplican cargas verticales y se miden las presiones laterales desarrolladas para determinados valores de la carga vertical (Fig. 4.6).

## 1) Ensayo del estabilómetro de Hveem.

La probeta está encerrada en una membrana de goma rodeada por un líquido que transmite la presión lateral desarrollada durante el ensayo. Se ha establecido la escala sobre la base de que, si la probeta fuera un líquido, la presión lateral sería igual a la presión vertical, en cuyo caso se considera que la estabilidad relativa es nula (0). En el otro extremo de la escala se considera un sólido compresible, que no transmite presión lateral y al que se le atribuye una estabilidad relativa de (90). Los ensayos sobre las mezclas asfálticas para pavimentación dan valores comprendidos en el intervalo 0-90. La estabilidad relativa de la probeta se calcula por una fórmula establecida.

Es importante mencionar que los esfuerzos laterales que se provocan al aplicarse una carga vertical, es función de la cantidad y tipo de asfalto incorporado a la mezcla, y del acomodo y características de las partículas del material pétreo. Es evidente que, para evitar que las carpetas de mezcla asfáltica se desplacen bajo la acción de las cargas impuestas por los vehículos, es necesario que presenten cierta resistencia a la deformación plástica, la cual queda fijada por el porcentaje mínimo de estabilidad, que será de 30, para tránsito ligero y de 35 para tránsito intenso.

Usualmente después de realizado el ensayo del estabilómetro, se somete la probeta al ensayo del cohesiómetro, que es un ensayo de flexión en el que la probeta se rompe por tracción.

## 2) Ensayo del Cohesiómetro de Hveem.

En este ensayo también se calienta la probeta a 60°C, manteniéndola a esta temperatura durante el período de ensayo en una cámara termostática. La probeta se sujeta al aparato (Fig. 4.7) y la carga se aplica a velocidad constante al extremo de un brazo de palanca. Cuando el brazo de la palanca ha descendido media pulgada (12 mm), se detiene automáticamente la caída de la grunalla empleada para aplicar la carga y se determina el peso de la grunalla. El valor del cohesiómetro se determina por una fórmula establecida:

$$C = \frac{W}{D (0.20 H + 0.044 H^2)}$$

C = valor del cohesiómetro, en gr/pulg<sup>2</sup>

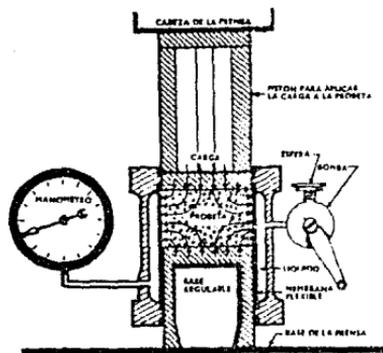


Fig. 4.6 ENSAYO DEL ESTABILIMETRO DE HVEEM

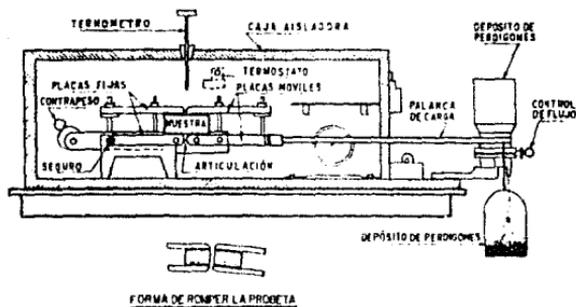


Fig. 4.7 ENSAYO DEL COHESIMETRO DE HVEEM

W = peso de la granalla en el depósito exremo, en gr.

D = diámetro o ancho del espécimen, en plg.

H = altura del espécimen en plg.

Se puede presentar el caso que la mezcla asfáltica compactada satisfaga los requisitos mínimos de estabilidad requeridos, pero que su cohesión o resistencia a los esfuerzos de tensión sean muy bajo debido a las características del producto asfáltico utilizado en su elaboración. Es evidente que las mezclas elaboradas con cementos asfálticos de baja penetración, presenten características de dureza diferentes a aquellas en que se utilizó un asfalto rebajado de fraguado medio, pongamos por caso. Entonces, el cohesiómetro nos va a medir la resistencia cohesiva de la película asfáltica que recubre al agregado pétreo sujetando al espécimen a un esfuerzo de flexión como ya mencionamos anteriormente. El valor obtenido con el cohesiómetro deberá ser igual o mayor de 50 para cualquier tipo de tránsito.

Contenido Optimo de asfalto.- será el porcentaje máximo que admita la mezcla sin perder estabilidad, y se definirá por medio de la curva porcentaje de asfalto - estabilidad. Si el valor del cohesiómetro es relativamente bajo, puede incrementarse dicho valor haciendo ajustes en la composición granulométrica del material pétreo, o bien utilizando un asfalto de mayor dureza, hasta alcanzar el valor mínimo señalado.

### 3) Ensayo del Equivalente Centrifugo del Keroseno (CKE).

Otra parte del método de Hveem empleado a veces es la determinación del contenido de asfalto óptimo, estimado por un procedimiento denominado ensayo del equivalente centrifugo del Keroseno (CKE). Se satura con Keroseno la porción de los áridos de la mezcla que pasa por el tamiz número 4, centrifugándola a continuación. La parte de los áridos que pasa por el tamiz de 3/8" y es retenida en el número 4, que se considera representativa de los áridos gruesos de la mezcla, se satura en aceite lubricante y se deja escurrir durante 15 min. a 60°C.

Los pesos de Keroseno y aceite retenidos por estos áridos se emplean como datos en un procedimiento, para calcular y estimar el contenido óptimo de asfalto de la mezcla.

### IV.3 METODO DE HUBBARD - FIELD

Este método fué desarrollado por Prevost Hubbard y F. C. Field ambos asociados inicialmente con el Instituto del Asfalto (Ref. 6). El procedimiento se desarrolló originalmente para mezclas de pavimento con materiales pétreos finos en las que todos los áridos pasarán por el tamiz número 4 y al menos el 85% por el número 10; más tarde se modificó haciendo posible el empleo de material pétreo grueso con un tamaño máximo de 3/4 de pulgada.

Las características principales de este método son un análisis "densidad-vacíos" y un ensayo de estabilidad. Este último consiste en la aplicación de una carga vertical a la probeta de 2" (5 cm) de diámetro y 1" (2.5 cm) de altura (para el método original), debidamente compactada y a 60°C, colocada sobre una base circular con orificio concéntrico en ella. Definimos como valor de estabilidad a la máxima carga en libras resistida por la probeta.

Se preparan dos o tres probetas con cada uno de varios contenidos de asfalto, usualmente con variaciones de 0.5% por encima y por debajo de un óptimo estimado. Los valores medios obtenidos para cada contenido de asfalto se representan en gráficas y se emplean para fijar el contenido óptimo.

#### Método Triaxial de Smith.

Este método fué desarrollado por Vaughn R. Smith y solo es aplicable a mezclas asfálticas elaboradas en caliente con cemento asfáltico y material pétreo de tamaño máximo no mayor de 2.5 cm (1"). Se emplea fundamentalmente para investigación, sobre mezclas asfálticas, y rara vez, para proyecto o ensayos de rutina (Ref. 6).

La probeta empleada en el ensayo triaxial debe tener una altura al menos doble que su diámetro. Normalmente se emplean probetas compactadas de unas 8" (20 cm) de altura por 4" (10 cm) de diámetro.

Cada probeta compactada se somete a un análisis de vacíos, peso volumétrico y ensayo triaxial de estabilidad. Este último emplea una celda de ensayo triaxial cerrada, en la que se determinan las presiones laterales producidas por las cargas verticales aplicadas a la probeta a la temperatura ambiente.

Se representa en una gráfica la relación entre las presiones verticales y las laterales, y se calculan por una fórmula establecida la cohesión y el ángulo de rozamiento interno de la probeta. Estos dos resultados se llevan a un ábaco que tiene como abscisas el ángulo de fricción interna y como ordenadas los valores de la cohesión unitaria; además este ábaco comprende dos zonas, una de las cuales está sombreada para mezclas inadecuadas o no satisfactorias. Si los valores obtenidos en el ensayo caen en la zona no sombreada del ábaco y el contenido de vacíos de la probeta está comprendido entre 5 y 10%, la mezcla se considera satisfactoria. En caso contrario, se repite el ensayo variando la granulometría del material pétreo o el contenido de asfalto, o ambos a la vez.

La elección definitiva de la mezcla para fines de proyecto debe ser la correspondiente a aquella mezcla de contenido mayor de asfalto con estabilidad satisfactoria, cumpliendo a la vez las demás exigencias en cuanto a peso volumétrico y vacíos.

#### IV.4 PROCEDIMIENTO PARA CALCULAR EL CONTENIDO MÍNIMO DE ASFALTO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS

##### A) Variante Uno (Para materiales con finos).

El método se basa en la estimación aproximada de la superficie total del agregado pétreo en función de su granulometría. Conocida el área total para 1 Kg de material se obtendrá el contenido mínimo de asfalto multiplicando dicho valor por el índice asfáltico aplicando la siguiente fórmula:

$$C.A.M. = \sum (F_n \times A E_n \times I A_n)$$

Siendo:

C.A.M. - Porcentaje mínimo de cemento asfáltico en la mezcla.

$F_n$  - Cada una de las fracciones que se estudian; porcentos en peso, - de c/u, los que deben sumar 100.

$A E_n$  - Área específica en  $m^2/kg$  de cada fracción.

$I A_n$  - Índice asfáltico que le corresponde a cada fracción.

El valor del índice asfáltico varía con la rugosidad y porosidad del material pétreo, aplicándose los valores medios que se dan en la tabla — N° 2. Estos valores están dados en kilogramos de cemento asfáltico por metro cuadrado de superficie de material pétreo.

Tabla I de Constantes	
Fracción (mallas)	Area Especifica (AE)
1 1/2" ..... 3/4"	0.27 m <sup>2</sup> /kg
3/4" ..... Núm. 4	0.41 "
Núm. 4 ..... Núm. 40	2.05 "
Núm. 40 ..... Núm. 200	15.38 "
Más fino que malla 200	53.30 "

Tabla II de Constantes	
Tipo de Material	Indice Asfáltico (IA)
Gravas o arenas de río o materiales redondeados de baja absorción (menos de 2%)	0.0055
Gravas angulosas o redondeadas, trituradas, de baja absorción (menos de 2%)	0.0060
Gravas angulosas o redondeadas de alta absorción (más de 4%) y rocas trituradas de absorción media (2 a 4%)	0.0070
Rocas trituradas de alta absorción (más de 4%)	0.0080

Para calcular la cantidad mínima requerida de un producto asfáltico-cualquiera (asfaltos rebajados), se aplica la siguiente fórmula:

$$P.A.M. = \frac{C.A.M.}{R.A.} \times 100$$

Siendo:

P.A.M. = Porcentaje mínimo de producto asfáltico

C.A.M. = Porcentaje mínimo de cemento asfáltico

R.A. = Residuo asfáltico en porcentaje (proporcionamiento de cem. asf. en el rebajado)

B) Variante Dos: materiales con pocos finos, con granulometría cercana al límite inferior de las especificaciones.

Se aplica:  $C.A.M. = 0.020 a + 0.045 b + c d$

C.A.M. = Porcentaje mínimo de cemento asfáltico

a = Porcentaje de material retenido en la malla 10

b = Porcentaje de material comprendido entre las mallas 10 y 200

c = Porcentaje de material que pasa la malla 200

d = Coeficiente asfáltico que depende de las características del material

Material	Coef. Asfáltico (d)
Gravas y arenas de río o materiales redondeados de baja absorción	0.15
Gravas trituradas de baja absorción	0.20
Rocas trituradas de absorción media	0.30
Rocas trituradas de alta absorción	0.35

En el caso de que se utilice un producto asfáltico, la cantidad mínima se calcula, como en el caso de la variante uno.

## Del Método Marshall incisos b, c y d :

## 112-12.2a

Deberá determinarse el peso volumétrico " $\gamma$ " del espécimen de la mezcla asfáltica compactada de acuerdo con el procedimiento indicado en las pruebas de estabilidad dividiendo el peso del espécimen entre su volúmen.

## 112-12.2b

Se calcularán la densidad teórica máxima y el porcentaje de vacíos — para cada contenido de asfalto, en la forma siguiente:

$$D = \frac{100}{\frac{P_g}{D_g} + \frac{P_f}{D_f} + \frac{P_a}{D_a}}$$

En donde:

D = densidad teórica máxima de la mezcla asfáltica.

$P_g$  = porcentaje de material pétreo retenido en la malla de 1/4" con relación al peso de la mezcla asfáltica.

$P_f$  = porcentaje de material pétreo que pasa la malla de 1/4" con relación al peso de la mezcla asfáltica.

$P_a$  = porcentaje de asfalto con relación al peso de la mezcla asfáltica.

$D_g$  = densidad relativa del material pétreo retenido en la malla de 1/4".

$D_f$  = densidad relativa del material pétreo que pasa la malla de 1/4".

$D_a$  = densidad del asfalto (1.03 en los cementos asfálticos).

Teniéndose que  $100\% = P_g + P_f + P_a$

El porcentaje de vacíos se calcula con la fórmula siguiente:

$$V = \frac{100 (D - \gamma)}{D}$$

en donde:

V = % de vacíos en el espécimen de mezcla asfáltica

D = densidad teórica máxima de la mezcla asfáltica

$\gamma$  = peso volumétrico del espécimen de mezcla asfáltica, expresado en  $gr/cm^3$

Se calculará la relación entre el volumen ocupado por el asfalto y el volumen total de huecos que existiría, si el material pétreo del espécimen no contuviera asfalto utilizando la siguiente fórmula:

$$V_o = \frac{D_r \times P_a \times \gamma}{100 D_r \times D_a - (100 - P_a) \gamma \times D_a}$$

$$V_o = \frac{\text{Volumen de asfalto}}{\text{Volumen total de huecos}}$$

Donde:

$D_r$  = Densidad relativa aparente del material pétreo.

$\gamma$  = Peso volumétrico del espécimen, en gramos sobre centímetro cúbico.

$D_a$  = Densidad relativa del cemento asfáltico (aproximadamente 1.03).

$P_a$  = Porcentaje de cemento asfáltico, con relación al peso de la mezcla.

## CAPITULO V

DETERMINACION DE ESPESORES  
DE CARPETAS ASFALTICAS

La estructura de un pavimento flexible, puede proyectarse para soportar cualquier volumen de tránsito y cualquier carga por eje que se aplique. Los esfuerzos transmitidos a las capas inferiores de esta estructura, disminuyen a medida que se profundizan de tal manera que el nivel de esfuerzos en las terracerías es mínimo. Esta estructura, como ya se mencionó en el primer capítulo, consiste de materiales que son progresivamente más resistentes partiendo del suelo natural hasta llegar a la carpeta.

El volumen de tránsito, las cargas máximas que deben soportarse y la capacidad de soporte del suelo natural, afectadas por el conocimiento de la climatología del lugar, determinan el espesor necesario y la calidad de la estructura del pavimento flexible y las capas que lo constituyen. Los esfuerzos y repeticiones de cargas producidos por el tránsito, que se transmiten a las capas inferiores no deben exceder a la capacidad de soporte de la estructura; a lo largo del desarrollo de este capítulo explicaremos con más detalle los conceptos anteriores.

Es necesario mencionar que el buen drenaje y la compactación cuidadosa de la subrasante y la base, son factores esenciales en un pavimento bien proyectado y bien construido, por tal motivo se considerará que satisfagan estos requisitos.

Se han desarrollado varios métodos para encontrar el espesor de un pavimento flexible, los cuales utilizan un índice experimental que es una prueba de laboratorio (V.R.S., valor de estabilidad de Hveem, pruebas de placa, etc.) que representa el comportamiento real de los pavimentos por medio de una correlación o conjunto de correlaciones más o menos razonables y seguras de manera que se obtengan resultados satisfactorios, entre el comportamiento de los materiales en el laboratorio y en la estructura.

Los 3 métodos que describiremos en este capítulo son aquellos que se emplean en la Secretaría de Obras Públicas como son: procedimiento tradicional SOP, método del Instituto del Asfalto de los E.U. y método del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Existen otros métodos muy conocidos y que vale la pena mencionar aunque no sean desarrollados en este capítulo: Método del V.R.S. propuesta por el Cuerpo de Ingenieros de los E.U.A., método de Hveem, método de Kansas, método Triaxial de Texas, etc.

Antes de describir los métodos de diseño, que es la parte esencial de este capítulo, consideré de importancia para su mejor comprensión, a--

clarar algunos conceptos como son el de Eje Equivalente y Calificación — actual.

## V.1 VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS

Las principales variables que influyen en el diseño de los espesores de pavimentos y en la estructuración de sus capas son (Ref. 2):

- 1° El tránsito, que incluye su intensidad diaria (promedio anual), peso y distribución de los vehículos y tasa anual de crecimiento.
- 2° Período de diseño, que permite calcular el número de repeticiones de las cargas transformadas a cargas equivalentes de 8.2 tons. por eje — sencillo, como veremos posteriormente con algunos ejemplos.
- 3° Resistencia de la capa subrasante en que se apoyará el pavimento. En el diseño de pavimentos flexibles, la resistencia de la capa subrasante puede determinarse, según el propio método de diseño, mediante pruebas de CBR, pruebas de estabilómetro de Hveem (valor de R) o pruebas — de placa de 12".
- 4° Condiciones del clima (Ref. 1), principalmente temperatura media anual y precipitación pluvial media anual, así como sus variaciones durante el año.
- 5° Número de carriles de la carretera, el cual interviene para fijar la — cantidad de camiones o de cargas pesadas que transitarán por el carril exterior (de baja velocidad), que es el que se considera como carril — de diseño. En una carretera de 2 carriles, este número de camiones — lógicamente es el 50% del total de ellos que transita en ambos senti— dos. En una carretera de 4 carriles, se estima en 45% (oscila entre — 35 y 48) y en una de 6 ó más carriles, en 40% del total (oscila entre — 25 y 48).

## V.2 CONCEPTO DE EJE EQUIVALENTE Y CALIFICACION ACTUAL

Para describir los efectos de las cargas, es conveniente transformar el tránsito mezclado a tránsito equivalente (Ref. 1) en función de un eje sencillo, que produzca el mismo efecto en cuanto a daño estructural.

El desarrollo del concepto de eje equivalente, se desarrolló en la prueba de carreteras AASHO (Ref. 2), en la cual, por medio de un procedimiento muy elaborado, basado en evaluaciones por mucha gente, de muchos pavimentos con diferentes grados de desgaste, los ingenieros encargados de la prueba definieron la falla funcional del pavimento en función de un número, que reflejan la cualidad de rodamiento. Este número es llamado índice de servicio actual "p" ó calificación actual y varía de 0 a 5.

Para aclarar lo anterior distinguiremos dos tipos de fallas: la falla funcional, que consiste en deficiencias superficiales de pavimento, a las que se asocia precisamente el índice de servicio; y la falla estructural resulta de la incapacidad del pavimento para resistir las cargas aplicadas.

La calificación actual exclusivamente toma en cuenta el estado de la superficie de rodamiento, no interviniendo factores tales como diseño geométrico de la carretera, estado de los acotamientos y taludes, señalamientos del camino, etc. La calificación actual tampoco debe extrapolarse a condiciones futuras.

De lo anterior, resulta que la calificación es una medida del daño acumulado existente en el momento de la inspección, juzgado desde el punto de vista de la molestia que ocasiona al usuario de la carretera. Los factores que intervienen con mayor peso para reducir la calificación de un pavimento son: ondulaciones longitudinales, deformaciones transversales y porcentaje de baches y áreas reparadas.

Debe hacerse notar que algunos defectos tales como grietas, baches pequeños y poco profundos así como desprendimientos del material pétreo del riego de sello, tienen poca influencia en la reducción de la calificación actual; aún cuando dichos defectos puedan ocasionar una falla brusca del pavimento en fecha posterior.

La calificación se lleva a cabo por un grupo de 5 a 10 personas que recorren el camino en forma individual, de tal manera que al final se obtiene un promedio. La escala AASHO para determinar esta calificación es la siguiente:

Calificación	Estado del Pavimento
0 - 1	Muy malo
1 - 2	Malo
2 - 3	Regular
3 - 4	Buena
4 - 5	Muy buena

La calificación de rechazo es aquella que corresponde al estado actual de un pavimento en condiciones tales que menos de la mitad de los usuarios de la carretera consideran que la superficie de rodamiento está en condiciones adecuadas de servicio. De acuerdo con los estudios realizados en México por la SOP, tanto directamente como a través del Instituto de Ingeniería de la UNAM (Ref. 2), el nivel de rechazo puede considerarse igual a 2.0. Además, si la calificación es 1.5 ó menor, el camino está prácticamente destruido y requiere reconstrucción.

Las aplicaciones del concepto de calificación actual son variadas y en la actualidad se ha utilizado ampliamente como un medio para determinar las correlaciones de reconstrucción que guardan distintos tramos entre sí. Por ejemplo, como puede apreciarse en la Figura 5.1, dos pavimentos de igual calificación actual, pueden tener comportamientos totalmente diferentes; el pavimento 1, aún cuando originalmente tuvo un mejor acabado que el 2, tiende a deteriorarse más rápidamente, según lo muestra la forma de su curva de comportamiento. En esas condiciones, si estuviesen situados en un mismo camino o sometidos a iguales intensidades de tránsito, el pavimento 1 debe tener prioridad de reconstrucción sobre el pavimento 2.

La mayoría de los métodos de diseño de espesores, derivados de la prueba AASHO, calculan la cantidad de tránsito que reducirá la calidad de rodamiento del pavimento para un índice de servicio de 2.0.

En México, el tránsito equivalente se refiere a un peso de 8.2 toneladas (18 000 lb) por eje sencillo, de tal manera que se pudo estimar con cuántas repeticiones del eje mencionado se reducía el  $p$  de un pavimento dado a 2.0, o en forma similar, cuántas pulgadas de estructura de pavimento, se requieren para resistir un cierto número de repeticiones de un eje sencillo de 8.2 toneladas (18 000 lb) de peso antes de ser reducido a un  $p$  de 2.0. Esta es la base fundamental para las curvas de diseño.

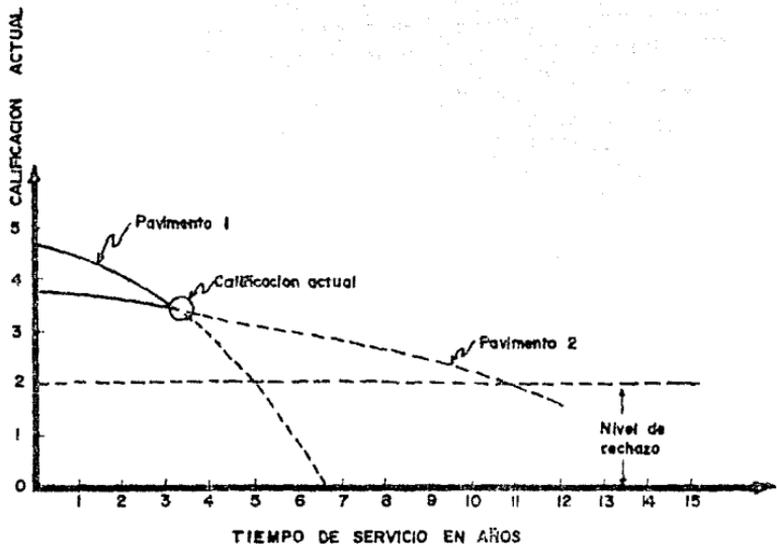


Fig. 5.1

### V.3 COEFICIENTES DE EQUIVALENCIA DE DAÑO

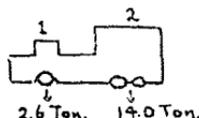
La conversión de tránsito mezclado, correspondiente a las condiciones normales donde se encuentran diferentes pesos por eje, a un tránsito equivalente con ejes de exclusivamente 8.2 ton se realiza a partir de los estudios de origen y destino, aplicando coeficientes experimentales previamente establecidos a los resultados del muestreo de vehículos con peso y clasificación de ejes.

En México se han utilizado los coeficientes de daño de la prueba AASHO, los cuales se calculan por medio de la figura 5.2 (Ref. 2) o usando las fórmulas que aparecen al pie de dicha figura.

En la figura 1 se observa que el daño estructural producido por las cargas aumenta rápidamente al aumentar la carga por eje. Igualmente puede verse que una sola aplicación de un eje sencillo de 8.2 ton produce el mismo daño que 100 ejes sencillos de 2.7 ton; de igual forma un eje sencillo causa el mismo deterioro que 12 tandems que pesen lo mismo que él.

Para explicar como se utilizan estos coeficientes, se hará el siguiente ejemplo:

Suponiendo el vehículo:



El vehículo tiene un eje sencillo y un eje en tandem, las flechas indican el peso de cada eje.

Se quiere saber a cuántos ejes equivalentes de 8.2 ton (18 000 lb) equivale cada vez que pasa este vehículo.

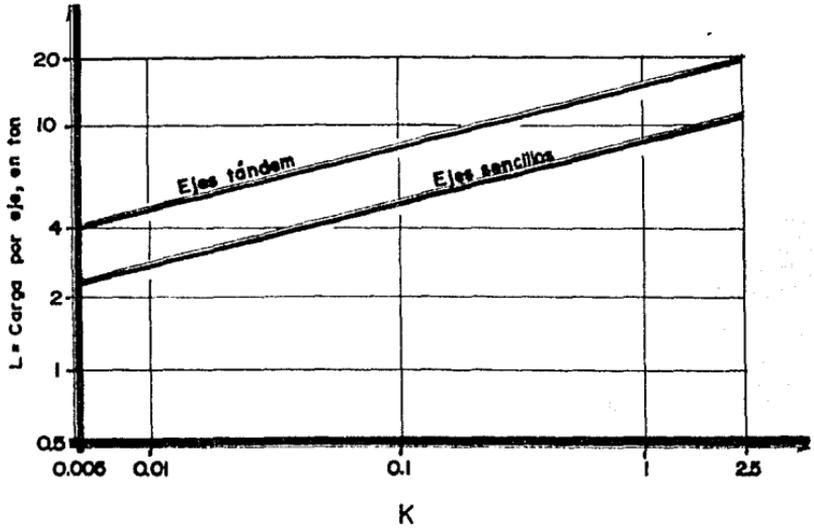
Utilizando la figura 5.2 o bien aplicando la fórmula correspondiente se tiene:

$$\text{efecto del eje 1} \quad K = \left( \frac{L_s}{8.2} \right)^4 = \left( \frac{2.6}{8.2} \right)^4 = 0.0100$$

$$\text{efecto del eje 2} \quad K = \left( \frac{L_t}{18} \right)^4 = \left( \frac{14.0}{18.0} \right)^4 = 0.7600$$

$$\text{efecto del eje 1} + \text{efecto del eje 2} = 0.0100 + 0.7600 = 0.77 \quad (\text{efecto total del vehículo})$$

## COEFICIENTES DE DAÑO



K = Coeficiente de equivalencias

$$K_{\text{tándem}} = \left(\frac{L_1}{L_s}\right)^4$$

$$K_{\text{sencillo}} = \left(\frac{L_s}{L_1}\right)^4$$

$L_s$  Carga por eje sencillo, en ton

$L_1$  Carga por eje tándem, en ton

Para igualdad de daño  $L_1 = 1.8 L_s$

Fig. 5.2

NOTA

$K_V$  = Coeficiente de equivalencia para el vehículo vacío.  
 $K_C$  = Coeficiente de equivalencia para el vehículo cargado.

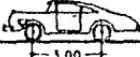
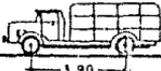
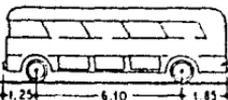
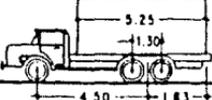
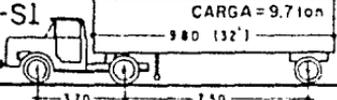
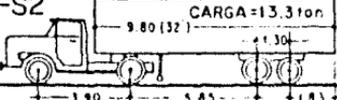
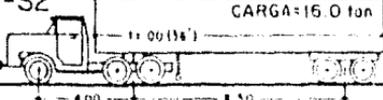
$\frac{W}{L}$	$W_{VAC}$	$K_V$	$W_{CARG}$	$K_C$
1	0.9	0.0001	1.0	0.0002
2	0.9	0.0001	1.0	0.0002
3	—	—	—	—
$\Sigma$	1.8	0.0002	2.0	0.0004
<p><math>A_p</math></p> 				
<p><math>A_c</math> CARGA = 2.5 ton</p> 				
1	1.2	0.0005	1.6	0.0014
2	1.2	0.0005	3.3	0.0260
3	—	—	—	—
$\Sigma$	2.4	0.0010	4.9	0.0274
<p>B 25 PASAJEROS</p> 				
1	3.0	0.0180	4.2	0.0690
2	7.0	0.5310	8.3	1.0500
3	—	—	—	—
$\Sigma$	10.0	0.5490	12.5	1.1190
<p>C2 CARGA = 5.1 ton</p> 				
1	1.5	0.0011	2.5	0.0086
2	2.7	0.0118	6.8	0.4730
3	—	—	—	—
$\Sigma$	4.2	0.0129	9.3	0.4816
<p>C3 CARGA = 9.7 ton</p> 				
1	1.7	0.0018	2.6	0.0100
2	5.2	0.0144	14.0	0.7600
3	—	—	—	—
$\Sigma$	6.9	0.0162	16.6	0.7700
<p>T2-S1 CARGA = 9.7 ton</p> 				
1	2.5	0.0085	3.0	0.0180
2	3.6	0.0370	8.0	0.9059
3	3.0	0.0180	7.8	0.8186
$\Sigma$	9.1	0.0635	18.8	1.7425
<p>T2-S2 CARGA = 13.3 ton</p> 				
1	3.5	0.0331	4.0	0.0560
2	4.0	0.0560	8.5	1.1600
3	3.8	0.0100	12.1	0.4300
$\Sigma$	11.3	0.0991	24.6	1.6460
<p>T3-S2 CARGA = 16.0 ton</p> 				
1	3.5	0.0331	3.9	0.0510
2	5.4	0.0168	13.0	0.5640
3	5.0	0.0124	13.0	0.5640
$\Sigma$	13.9	0.0623	29.9	1.1790

Fig. 5.3 CONVERSION DE VEHICULOS A EJES EQUIVALENTES

O sea que cada pasada de este vehículo con esos pesos en cada eje equivale a 0.77 ejes equivalentes de 8.2 ton, así, obviamente si en un análisis de tránsito, se observa que pasaron 100 vehículos como el mencionado anteriormente, en un día en una carretera, esas pasadas equivalen a 77 pasadas de un eje de 18 000 lb (8.2 ton).

Cabe aclarar, antes de seguir adelante, que un pavimento falla por las repeticiones de cargas (frecuencia) y no por la magnitud de la carga y así mismo, se dice que cuando ocurren dos pasadas sucesivas de una misma llanta por el mismo punto, se ha producido una repetición de carga.

En la Figura 5.3 (Ref. 2) se muestran los coeficientes de equivalencia de carga de los diferentes vehículos en uso, obtenidos de pruebas realizadas por la AASHO. Para cada vehículo aparecen sus pesos tanto vacíos como cargados, así como sus coeficientes obtenidos directamente de la gráfica de la figura 1, entrando con la carga por eje y leyendo directamente el coeficiente.

#### V.4 METODOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

##### 1.- Método de la Secretaría de Obras Públicas.

Este método (Ref. 1), en función del valor relativo de soporte (V.R. S.) del material de la capa subrasante y del tránsito diario estimado de vehículos con carga igual o mayor de 3 tons., circulando en un solo sentido, nos da el espesor total de sub-base + base. El espesor y tipo de carpeta se fijan tomando en cuenta principalmente la intensidad del tránsito y las condiciones climatológicas de la región, quedando un tanto al criterio del proyectista. (Fig. 5.4).

En este método, como se observa en la Figura, se distinguen cuatro casos dependiendo de la intensidad de tránsito de vehículos siendo menor de 500, de 500 a 1 000, de 1 000 a 2 000 y más de 2 000, notando claramente que no se hace un análisis racional del tránsito en lo que se refiere a los pesos de los vehículos, su distribución y tasas de crecimiento anual de tal forma que llegaríamos a un mismo criterio de diseño con un tránsito de 2 000 vehículos pesados o de 25 000, o bien se llegaría al mismo proyecto con 400 camiones de 3 ton, que con 400 camiones de 30 ton.

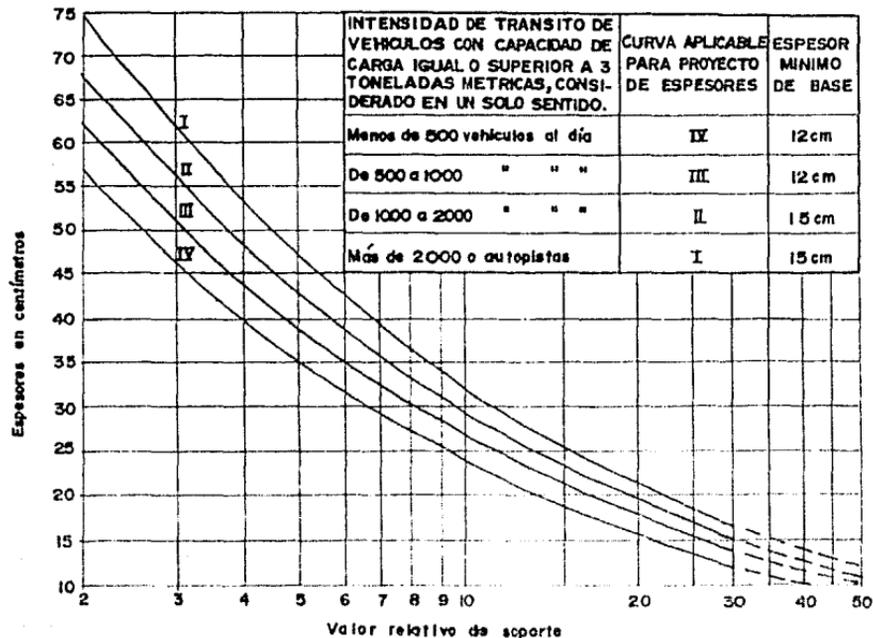


Fig. 5.4 Curvas para calcular el espesor mínimo de sub-base más base, en pavimentos flexibles para caminos en función del V.R.S. de la sub-rasante. Método de la Sría de Obras Públicas.

El Ing. Santiago Corro nos dice (Ref. 2) que, la principal limitación de este método consiste en el número reducido de variables de diseño de tal forma que se obtiene el mismo diseño para condiciones que pueden variar radicalmente; así, para caminos de bajo tránsito la gráfica de la figura 5.4, tiende a dar pavimentos sobrediseñados, y en caminos de alto volumen de tránsito ocurre lo contrario, obteniéndose pavimentos subdiseñados.

El valor relativo de soporte (V.R.S.) del material de la capa subrasante se determina con base en el procedimiento de prueba establecido por la propia Secretaría de Obras Públicas (Ref. 9).

## B.- Método del Instituto del Asfalto de los Estados Unidos.

Explicaremos brevemente este método (Ref. 1) y después daremos un ejemplo para la mejor comprensión del mismo.

Con base en estudios previos de tránsito, económicos, sociales, etc., se establece el número diario medio de vehículos que sean de esperar en el camino durante el primer año de su operación. Este número se denomina Tránsito Diario Inicial (TDI). Se determina posteriormente el porcentaje de vehículos pesados que existirá en ese primer año e igualmente, cuanto de este porcentaje corresponde al carril de diseño. Así mismo, conoceremos el peso promedio de los vehículos pesados y el límite de carga legal por eje sencillo establecido por las autoridades.

Ya una vez teniendo los datos anteriores podemos obtener el (ITN) utilizando el nomograma de la figura 5.5 de la siguiente forma: fíjese en la escala D el valor medio de la carga de los camiones. Unase ese punto con el número de camiones pesados en el carril de diseño sobre el eje C. La línea anterior deberá prolongarse hasta cortar el eje B. Fíjese ahora en el eje E el límite de carga legal para eje sencillo prevaleciente; este punto deberá unirse con el anterior encontrado sobre el eje B y esa línea deberá prolongarse hasta el eje A, sobre el que podrá leerse el Número de Tránsito Inicial (ITN).

La tabla N<sup>o</sup> 5.1 da los factores de corrección que deberá aplicarse al número de tránsito inicial, en función del período de diseño y de la tasa anual de crecimiento del tránsito, de manera que el producto de las dos cantidades es el número de tránsito de diseño (DTN).

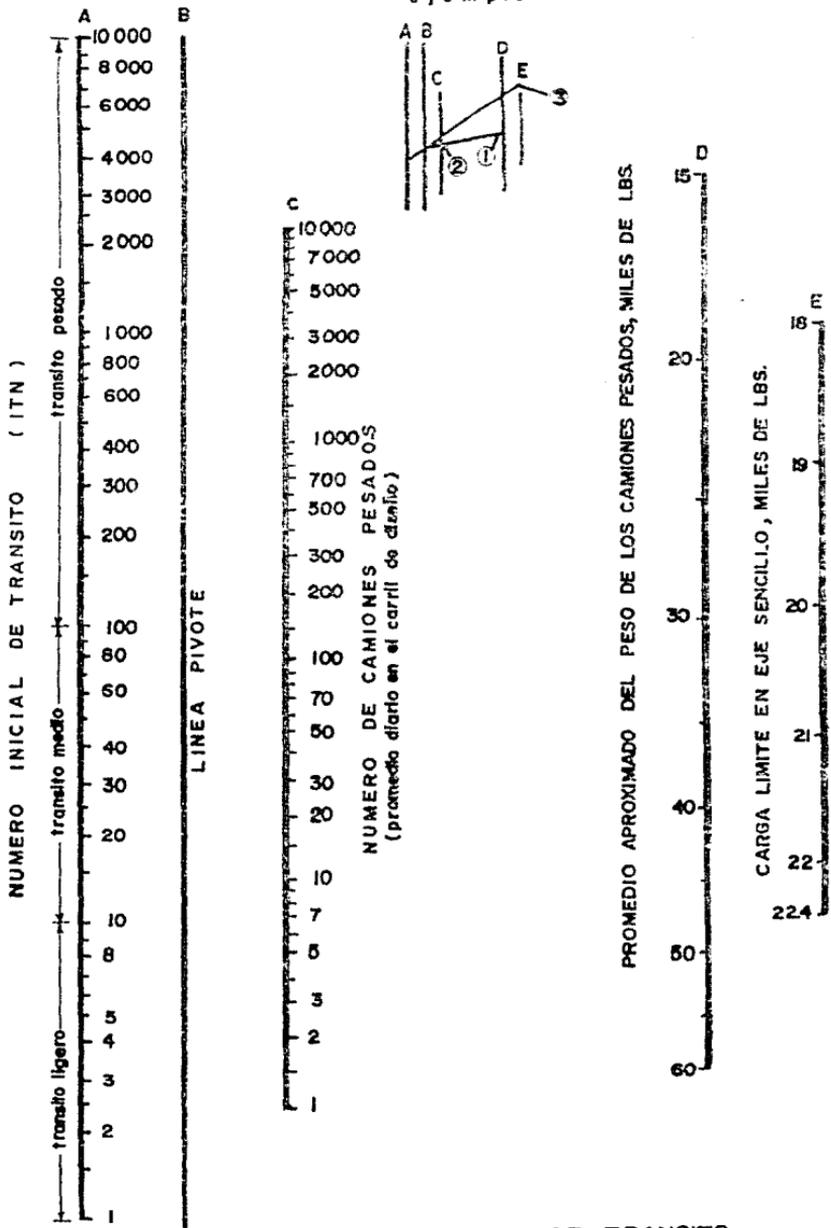


Fig. 5.5

NOMOGRAMA DE ANALISIS DE TRANSITO

Tabla No.51.- FACTORES DE CORRECCION PARA EL NUMERO DE  
TRANSITO INICIAL (ITN)

Período de Diseño en Años ( n )	Tasa de crecimiento anual, por ciento ( r )					
	0	2	4	6	8	10
1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
2	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
4	0.20	0.21	0.21	0.22	0.22	0.23
6	0.30	0.32	0.33	0.35	0.37	0.39
8	0.40	0.43	0.46	0.50	0.53	0.57
10	0.50	0.55	0.60	0.66	0.72	0.80
12	0.60	0.67	0.75	0.84	0.95	1.07
14	0.70	0.80	0.92	1.05	1.21	1.40
16	0.80	0.93	1.09	1.28	1.52	1.80
18	0.90	1.07	1.28	1.55	1.87	2.28
20	1.00	1.21	1.49	1.84	2.29	2.86
25	1.25	1.60	2.08	2.74	3.66	4.92
30	1.50	2.03	2.80	3.95	5.65	8.22
35	1.75	2.50	3.68	5.57	8.62	13.55

$$\text{Factor} = \frac{(1+r)^n - 1}{20 r}$$

$$(DTN) = (ITN) \times \text{Factor de corrección}$$

Cabe aclarar que este Número de Tránsito para Diseño (DTN) previsto, corresponde al promedio diario de cargas equivalentes de 8.2 ton (18 000-lb), dispuestas en un eje sencillo, que se esperan durante el período de diseño de la obra, normalmente fijado en 20 años por el propio Instituto de Asfalto.

Finalmente, ya una vez determinado el valor o valores índice de resistencia del material de la capa subrasante (V.R.S., valor de estabilidad de Hveem, pruebas de placa) y el (DTN), obtenemos el espesor requerido de pavimento, en términos de concreto asfáltico utilizando los nomogramas de las figuras 5.6 y 5.7.

El Instituto del Asfalto da el espesor necesario de cubrimiento sobre un material determinado en términos de un espesor de concreto asfáltico, el cual debe ser convertido en una estructuración más convencional utilizando los siguientes factores de equivalencia:

Bases granulares de alta calidad (V.R.S. > 100) = 2.0

Bases granulares de baja calidad (V.R.S. > 20) = 2.7

El espesor mínimo de carpeta de concreto asfáltico que propone el Instituto del Asfalto se observa en la figura 5.8. Determinado el espesor de concreto asfáltico necesario, deberá restársele el espesor necesario de carpeta. El espesor sobrante de concreto asfáltico será el que se pueda convertir a capas convencionales, haciendo uso de los factores de equivalencia.

La Secretaría de Obras Públicas obtiene de igual forma el espesor requerido de pavimento, en términos de concreto asfáltico, transformando parte de este espesor en sub-base o base hidráulica, de acuerdo con los siguientes factores de equivalencia:

1" de concreto asfáltico = 2.0" de base hidráulica

1" de concreto asfáltico = 2.7" de sub-base hidráulica

#### Ejemplo:

Supongamos una carretera propuesta para 6 carriles de tránsito, la cual tiene un tránsito diario inicial de 30 000 vehículos. La tasa de crecimiento anual se supone de 5.0%. La carga límite permisible en eje simple es de 18 000 lb y el peso promedio aproximado que se espera es de 35 000 lb.

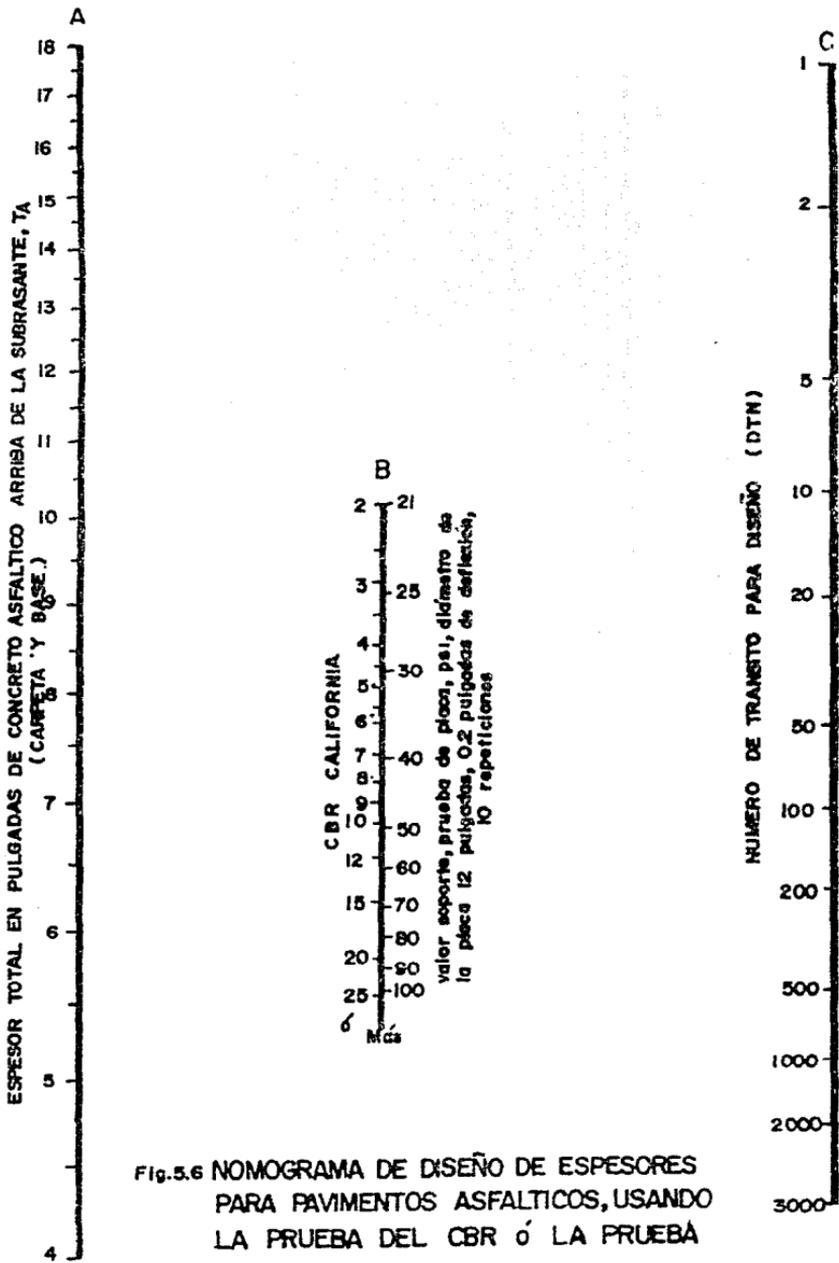


Fig.5.6 NOMOGRAMA DE DISEÑO DE ESPESORES PARA PAVIMENTOS ASFALTICOS, USANDO LA PRUEBA DEL CBR Ó LA PRUEBA DE PLACA.

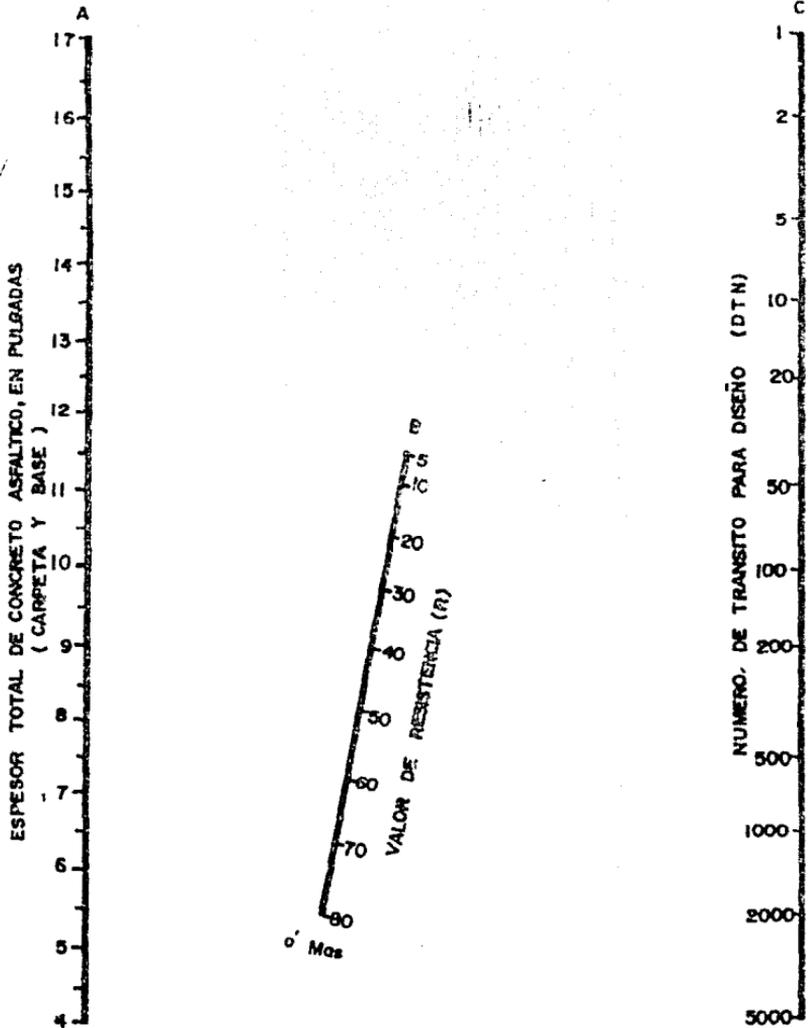
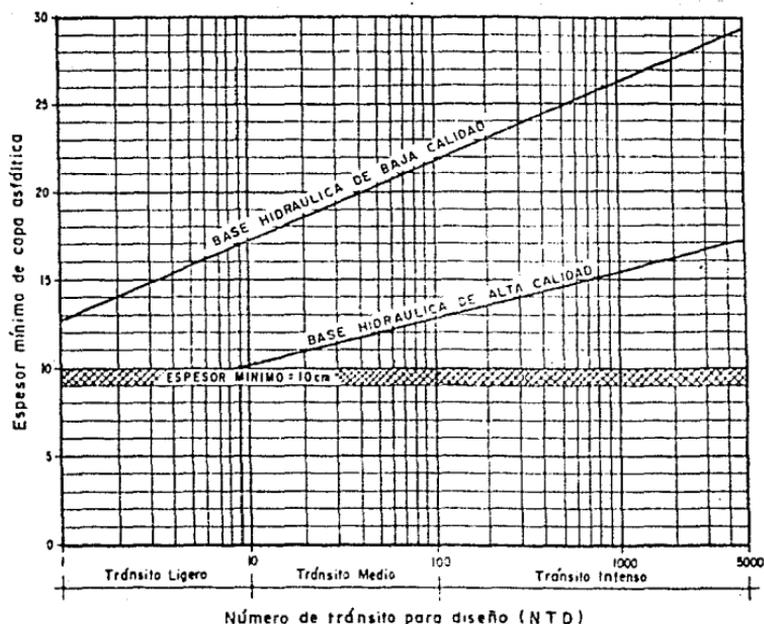


Fig. 5.7 NOMOGRAMA DE DISEÑO DE ESPESORES PARA PAVIMENTOS ASFALTICOS, USANDO EL VALOR DE RESISTENCIA (R)



## REQUISITOS MINIMOS PARA MATERIALES DE BASES HIDRAULICAS

TIPO DE PRUEBA	NORMAS	
	BAJA CALIDAD	ALTA CALIDAD
VR5 Mínimo	20	100
Valor de R Mínimo	55	80
Límite Líquido Máximo	25	25
Índice Plástico Máximo	6	NP
Equivalente de Arena Mínimo	25	50
Máximo Porcentaje de Material que pasa Malla N° 200	12	7

Fig. 5.8 ESPESORES MINIMOS DE CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO SOBRE BASES GRANULARES, SEGUN EL INSTITUTO NORTEAMERICANO DEL ASFALTO

El número de camiones pesados en el flujo de tránsito, se estima del 10% respecto al volumen total de tráfico. El número de camiones pesados en el carril de diseño se estima de 40% del número total de camiones pesados. Encuentre el número de tránsito diario para un periodo de diseño de 15 años.

1.- Tránsito diario inicial (promedio anual) = 30 000 vehículos.

2.- Por ciento de camiones pesados en ambas direcciones

$$A = 10$$

3.- Por ciento de camiones pesados en el carril de diseño

$$B = 40$$

4.- El número de camiones pesados en el carril de diseño será:

$$N = \text{TDI} \times \frac{A}{100} \times \frac{B}{100} = 30\,000 \times \frac{10}{100} \times \frac{40}{100} = 1\,200$$

Este valor corresponde a la línea C de la Carta de Análisis de Tráfico, figura 5.5.

5.- Utilizando la Carta de Análisis de Tráfico (Fig. 5.5), dibuje una línea recta entre los nomogramas D y C, con los valores de 35 000 y 1 200 respectivamente y proyéctela hasta cruzar la línea pivote B.

6.- Fije el valor de la carga límite permisible de un eje simple en la línea E, este valor es de 18 000 lb, de acuerdo con los datos de proyecto.

7.- Dibuje una línea uniendo los puntos de los nomogramas E y B y proyéctela hasta cruzar la línea A.

8.- Lea sobre la línea A un número de tráfico inicial (ITN) de 800.

9.- Periodo de diseño = 15 años.

10.- Tasa de crecimiento anual = 5.0%.

11.- Con los valores de los incisos 9 y 10, encuentre el factor de corrección utilizando la tabla N° 5.1, el cual es de 1.07 en este ejemplo.

12.- El número de tránsito diario para un periodo de diseño de 15 años será:

$$\text{DTN} = 800 \times 1.07 = 856$$

13.- Supongamos un CBR de la subrasante de 10%

14.- Utilizando la carta de diseño de espesores de pavimento asfáltico (Fig. 5.6), dibuje una línea con los valores del DTN y el CBR, uniendo los puntos correspondientes en los nomogramas C y B de dicha carta, prolongue la línea dibujada hasta cortar el nomograma A y lea el espesor

de pavimento asfáltico necesario ( $T_A$ ), en el presente ejemplo será de — 8.2".

### 3.- Método del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Es uno de los métodos modernos (Ref. 2) que usa el criterio de tránsito equivalente en ejes de 18 000 lb (8.2 ton).

En el Instituto, se hicieron investigaciones y se han calculado valores para los coeficientes de daño, en función del espesor del pavimento, — estos valores van decreciendo con la profundidad y se incluyen en el nuevo método de diseño que se propone a SOP.

De acuerdo con este método, los espesores requeridos sobre una determinada capa se obtienen en la gráfica de la figura 5.9, el cual se entra con el tránsito acumulado, en millones de ejes equivalentes de 8.2 ton en un solo sentido, que soportará el pavimento en el período de diseño y el valor relativo de soporte (V.R.S.), del material de la capa subrasante.

El tránsito acumulado, en millones de ejes sencillos equivalentes de 8.2 ton, se obtiene conociendo el volumen de tránsito promedio diario anual que se estima tendrá la carretera durante el primer año de servicio, la tasa de crecimiento anual, el período de diseño y la composición de — tránsito; este último dato se utiliza para aplicar los factores de equivalencia a carga en eje sencillo de 8.2 ton, de los distintos tipos de vehículos que aparecen en la figura 10 (Ref. 2) propuesta por el Instituto de Ingeniería tomando en cuenta diferentes profundidades como mencionamos anteriormente.

Con la gráfica de la figura 5.11 podemos calcular el tránsito total-acumulado, a lo largo de la vida de proyecto y de acuerdo a la tasa de — crecimiento anual.

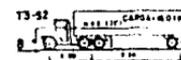
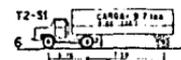
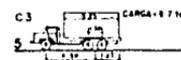
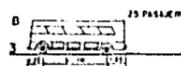
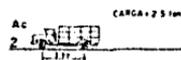
Esta gráfica se explicará con un ejemplo.

Ejemplo:

1. Supongamos una carretera de 4 carriles, con un tránsito diario inicial de 10 000 vehículos (en dos direcciones). Previendo un crecimiento — de 15% anual y una vida de proyecto de 10 años, ¿Cuál será el tránsito acumulado en ejes equivalentes de 8.2 ton (18 000 lb), al final de la vida de proyecto?



NOTA  
 1. Carga en toneladas por eje  
 2. Carga en toneladas por eje  
 3. Carga en toneladas por eje



CARACTERÍSTICAS			
Eje	Peso, ton	$P_e$	$K_g/cm^2$
	Cargado	Vacío	

1	1.0	0.8	7.0
2	1.0	0.8	2.0
Σ	2.0	1.6	-

1	1.6	1.2	4.2
2	3.3	1.2	4.2
Σ	4.9	2.4	-

1	4.2	3.0	5.8
2	8.3	7.0	5.8
Σ	12.5	10.0	-

1	2.5	1.5	5.0
2	6.8	2.7	5.0
Σ	9.3	4.2	-

1	2.6	1.7	5.0
2	14.0	3.2	5.0
Σ	16.6	6.9	-

1	3.0	2.5	5.8
2	8.0	3.6	5.8
Σ	11.0	6.1	-

1	4.0	3.5	5.8
2	8.5	4.0	5.8
Σ	12.5	7.5	-

1	3.9	3.5	5.8
2	13.0	3.4	5.8
Σ	16.9	6.9	-

COEFICIENTES DE DAÑO			
CARGADO, F			
z=0	z=15	z=22.5	z=30

0.0023	0.000	0.000	0.000
0.0023	0.000	0.000	0.000
0.0046	0.000	0.000	0.000

0.17	0.002	0.001	0.000
0.17	0.040	0.010	0.010
0.34	0.042	0.01	0.010

1.0	0.150	0.080	0.050
1.0	1.000	1.020	1.050
2.0	1.150	1.100	1.100

0.44	0.025	0.006	0.002
0.44	0.440	0.440	0.440
0.88	0.465	0.440	0.442

0.44	0.025	0.008	0.003
0.44	0.650	0.650	0.650
0.88	0.675	0.658	0.653

1.0	0.940	0.915	0.907
1.0	0.905	0.900	0.900
1.0	0.800	0.800	0.800
3.0	1.740	1.715	1.707

1.0	0.120	0.040	0.030
1.0	1.000	1.020	1.030
2.0	0.450	0.450	0.450
4.0	1.570	1.480	1.480

1.0	0.100	0.030	0.025
2.0	0.600	0.500	0.500
2.0	0.600	0.500	0.500
3.0	1.300	1.050	1.025

COEFICIENTES DE DAÑO			
VACÍO, F			
z=0	z=15	z=22.5	z=30

0.0023	0.000	0.000	0.000
0.0023	0.000	0.000	0.000
0.0046	0.000	0.000	0.000

0.17	0.001	0.000	0.000
0.17	0.000	0.000	0.000
0.34	0.001	0.000	0.000

1.0	0.040	0.015	0.007
1.0	0.600	0.500	0.500
2.0	0.640	0.515	0.507

0.44	0.002	0.000	0.000
0.44	0.025	0.008	0.003
0.88	0.027	0.008	0.003

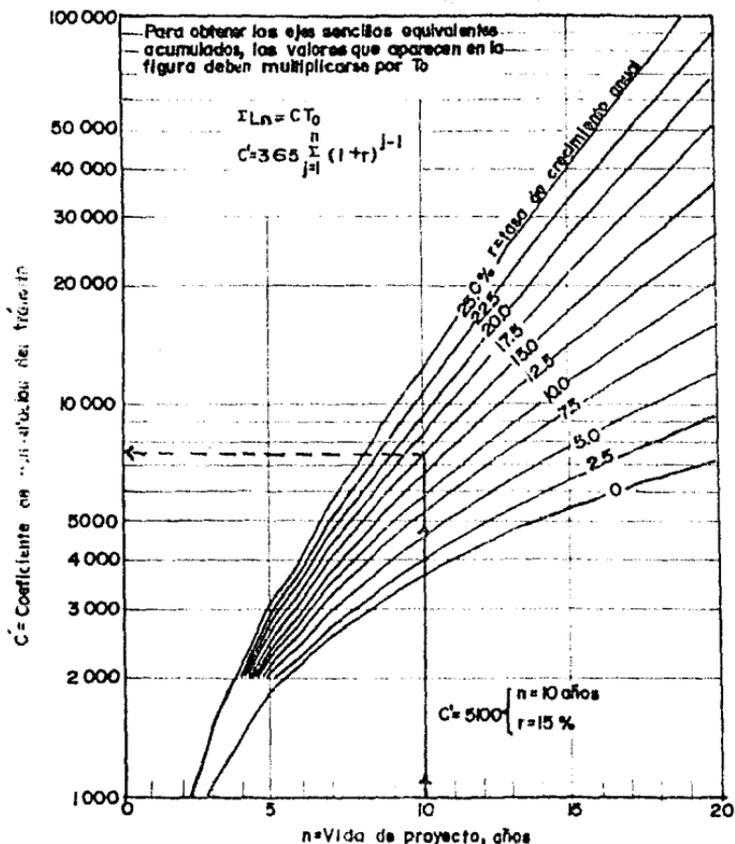
0.44	0.004	0.001	0.000
0.44	0.040	0.010	0.006
0.88	0.041	0.011	0.006

1.0	0.020	0.006	0.002
1.0	0.080	0.030	0.020
1.0	0.040	0.015	0.007
3.0	0.140	0.051	0.029

1.0	0.080	0.030	0.020
1.0	0.120	0.060	0.030
2.0	0.110	0.002	0.001
4.0	0.210	0.092	0.051

1.0	0.080	0.030	0.020
2.0	0.040	0.015	0.007
2.0	0.030	0.010	0.005
3.0	0.130	0.055	0.032

Fig. 5.10 COEFICIENTES DE DAÑO PARA DIFERENTES PROFUNDIDADES EN DISTINTOS TIPOS DE VEHICULOS



$\sum L_n =$  Tránsito acumulado al cabo de  $n$  años de servicio, ejes equivalentes de 8.2 Ton,

$C =$  Coeficiente de acumulación del tránsito, para  $n$  años de servicio y una tasa de crecimiento anual  $r$

$T_0 =$  Tránsito medio diario por carril en el primer año de servicio, ejes equivalentes de 8.2 Ton,

$$T_0 = \sum N F_1 + \sum N_i F_i$$

$N_1, N_i =$  Promedio diario por carril de vehículo tipo I (cargados o descargados, respectivamente), durante el primer año de servicio.

$F_1, F_i =$  Coeficiente de daño relativo producido por cada viaje del vehículo I (cargado o descargado, respectivamente), ejes equivalentes de 8.2 Ton.

Fig. 5.11

1	2	3	4	5
Tipo de Vehículo	Vol. Promedio diario anual (2 direcciones)	Núm. de vehículos carril de diseño (40%)	Coefficiente de daño Fig. 5.3	Núm. ejes equivalentes de 8.2 ton
Ap	7 000	2 800	0.000 4	1.12
Ac	1 800	720	0.03	21.60
B	500	200	1.1	220.00
C <sub>2</sub>	400	160	0.5	80.00
C <sub>3</sub>	110	44	0.8	35.20
T <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	30	12	1.7	20.40
T <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	120	48	1.6	76.80
T <sub>3</sub> S <sub>2</sub>	40	16	1.2	19.20
Total	10 000	4 000		To=474.32

#### Explicación de la tabla:

El número de vehículos en el carril de diseño (columna 3), se obtiene multiplicando el volumen promedio diario anual de la columna (2) por el coeficiente de distribución de 40%, el cual fue seleccionado en función del número de carriles (4 en este caso) de la carretera. El número de ejes equivalentes de la columna 5, para cada tipo de vehículo, se determina multiplicando el número de vehículos del carril de diseño de la columna 3, por el coeficiente de equivalencia de daño de la columna 4. En la columna 5 se tiene al final, la suma de los resultados parciales, observándose que los 4 000 vehículos de tránsito mezclado en el carril de diseño corresponden a 474 ejes equivalentes de 8.2 ton (18 000 lb).

Para calcular el tránsito acumulado en la vida de proyecto, se usa la siguiente fórmula:

$$\sum L_n = 365 To \sum_{j=1}^n (1 + r)^j - 1$$

siendo:

n = vida de proyecto en años

r = tasa de crecimiento anual de tránsito

To = tránsito inicial en ejes equivalentes de 8.2 ton (en nuestro caso es 474)

La gráfica de la figura 5.11 nos resuelve la parte de la fórmula —

$$C = 385 \sum_{j=1}^n (1+r)^j - 1$$

O sea que entrando a la gráfica con  $n = 10$  y  $r = 15$  encontramos que:

$C = 7\,300$ , por lo tanto, el tránsito acumulado en los 10 años de la vida del camino es:

$$\sum L_n = C \times T_o = 7\,300 \times 474 = 3\,460\,200 \text{ ejes sencillos de 8.2 ton}$$

2. Diseñar la sección estructural del camino utilizando los valores del V.R.S. supuestos para este ejemplo:

Suelo natural	4.0%
Sub-rasante	10.0%
Sub-base	30.0%
Base	80.0%

Procedimiento: Con el dato de tránsito acumulado ya obtenido (3 460-200) se dibuja sobre la gráfica de la figura 5.9 una curva de igual resistencia relativa. Posteriormente con los datos de resistencia de los materiales y la gráfica se determinan los espesores de las capas de la estructura del camino, que en este caso corresponden a la capa subrasante, sub-base, base y carpeta.

Los espesores se obtienen de la siguiente forma: el espesor total de material equivalente que deberá colocarse sobre el terreno natural se determina dibujando una línea vertical partiendo del punto cuyo V.R.S. es de 4.0% hasta interceptar la curva de igual resistencia en un punto denominado punto crítico, que proyectado en el eje de las ordenadas (z) proporciona un espesor total de 64 cm. El espesor de la capa subrasante es igual a la distancia vertical entre los puntos críticos correspondientes a los valores de V.R.S. de 4.0% y 10.0%, correspondiendo a 26 cm para esta capa; en forma similar se obtuvo un espesor de 21 cm para la capa de sub-base.

La diferencia entre el espesor total y la suma de espesores de la sub-rasante y la sub-base es igual al espesor disponible para alojar la base y la carpeta, en grava equivalente; es decir (Ver Fig. 5.9):

$$64 - (26 + 21) = 17 \text{ cm}$$

que de acuerdo con la ecuación estructural de espesores siguiente:

$$Z_n = \sum_{i=1}^n a_i D_i \quad \text{se tiene:}$$

$$Z = 17 = a_1 D_1 + a_2 D_2$$

En donde:

$D_1$  = espesor de la carpeta asfáltica, cm (real)

$D_2$  = espesor de la base, cm (real)

$a_1$  y  $a_2$  = coeficiente de equivalencia de espesor real a grava equivalente.

$a_1 = 2$ , para concreto asfáltico

$a_2 = 1$ , para bases hidráulicas

El espesor mínimo requerido de carpeta asfáltica es de 5 cm obtenido por medio de la siguiente tabla:

£L	$\leq 5 \times 10^5$	$10^6$	$10^7$	$10^8$
$2D_1$	1 riego	10.0	17.5	25.0
$D_2$	15	12.5	12.5	12.5

Espesores mínimos recomendables, cm

Por lo tanto se tiene:

$$a_1 D_1 + a_2 D_2 = 2 \times 5 + D_2 = 10 + D_2 = 17$$

Espesor de la base hidráulica,  $D_2 = 7$  cm

La estructuración del camino quedará finalmente de la siguiente manera:

Capa Sub-rasante	26 cm
Capa Sub-base	21 cm
Base hidráulica	7 cm
Carpeta de concreto asfáltico	5 cm

## CAPITULO VI

PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION  
DE CARPETAS ASFALTICAS

El objetivo de este tema es dar a comprender que para que una carpeta se comporte satisfactoriamente y que tenga una larga vida útil, va a depender de tres factores principales: elaboración, tendido y compactación. Para lograr esta comprensión, se mencionarán los procedimientos constructivos necesarios de los diferentes tipos de carpetas.

Antes de iniciar este tema, es necesario recordar para el mejor entendimiento del mismo, que un pavimento flexible va a estar sujeto a una serie de riegos o tratamientos superficiales como lo muestra la figura 6.1, cuya finalidad es cubrir y proteger parte de la estructura del pavimento en donde se aplique, de la acción destructiva de los agentes atmosféricos y del tránsito de personas, animales y toda clase de vehículos que circulen sobre esa zona.

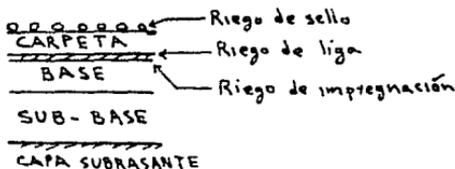


Fig. 6.1

#### a) Riego de impregnación.

Consiste en la aplicación de un producto asfáltico rebajado de fraguado medio o lento, sobre la base terminada, a razón de 0.8 a 2.0 litros por metro cuadrado (Ref 3), quedando después de que penetre el asfalto, una superficie protegida temporalmente y además como una preparación para colocar sobreésta, otro tratamiento asfáltico.

Con este tratamiento también se obtiene una impermeabilización superficial, se cierran los huecos capilares, se envuelven y ligan las partículas minerales sueltas, aumentan la resistencia de la superficie y facilita la adherencia con el tratamiento superior que se coloque.

#### b) Riego de adherencia o liga.

Este tratamiento superficial se emplea para obtener buena adherencia entre la superficie existente y la nueva que se vaya a colocar (Ref. 3).

Este riego para cumplir bien con el cometido deberá ser muy ligero y uniforme en toda la superficie. Se emplea un rebajado asfáltico de fra-

guado rápido o una emulsión asfáltica de rompimiento rápido, en una proporción de 0.2 a 0.8 litros por metro cuadrado.

c) Riego de sello.

Este tratamiento superficial (Ref. 3) se emplea generalmente para:

1. Sellar superficies de un pavimento (nuevo o viejo), una base (granular o asfáltica).
2. Rejuvenecer una superficie envejecida.
3. Llenar las grietas existentes en los pavimentos, para evitar la penetración del agua a las capas inferiores del pavimento.
4. Corregir ligeras deformaciones o un principio de disgregación del pavimento.
5. Obtener una superficie no deslizante empleando agregados granulares resistentes al desgaste.
6. Mejorar la visibilidad por contraste de colores.
7. Separación de carriles, acotamientos y estacionamientos, cambiando la granulometría superficial.

En los riegos de sello se emplean generalmente un rebajado asfáltico de fraguado rápido o una emulsión asfáltica de rompimiento rápido ( $1.4$  a  $2.31$   $l/m^2$ ), con agregados granulares en proporción especial para cada uso específico en que se emplee.

El sello forma una capa de 1 a 2 cm de espesor, su tamaño es de  $3/16"$  a  $3/8"$ .

## VI.1 CLASIFICACION DE CARPETAS ASFALTICAS

Las carpetas asfálticas se clasifican en tres grupos los cuales analizaremos en una forma breve:

- 1° Carpetas Asfálticas de mezcla en el lugar (en frío).
- 2° Carpetas Asfálticas por el sistema de mezcla en planta (en caliente).
- 3° Carpetas Asfálticas por el sistema de riegos superficiales. Estas pueden ser de uno, dos, tres o cuatro riegos.

Las carpetas de mezcla en planta en caliente con cemento asfáltico son las de más alta calidad y se emplean en carreteras con elevada intensidad de tránsito ó con tránsito pesado (más de 3 000 vehículos diarios). Las carpetas de mezcla en el lugar, es el tipo intermedio de superficie -

de rodamiento y su vida y capacidad de carga es mayor que las carpetas — asfálticas hechas por el sistema de riegos superficiales (hasta 3 000 — vehículos diarios). Las carpetas de riegos, particularmente de 1 ó 2 riegos, se utilizan para carreteras de bajo tránsito (500 vehículos diarios o menos).

## VI.2 MEZCLA EN EL LUGAR

Se llama mezcla en el lugar (Ref. 6) porque se hace en el sitio donde se va a usar, con materiales pétreos y asfaltos rebajados de fraguado-rápido de los tipos FR-2, FR-3, ó FR-4, a la temperatura de 80°C.

Para su elaboración son necesarios una petrolizadora para regar el — asfalto, una motoconformadora para hacer la revoltura del material pétreo con asfalto y extenderla sobre la superficie del camino y una aplanadora-metálica de 3 ruedas con peso de 10 a 12 toneladas auxiliada con un rodillo neumático de 7 ó 13 ruedas con peso de 4 a 6 tons.

Generalmente la cantidad de cemento asfáltico requerida, es de 90 a 115 lts por m<sup>3</sup> de material pétreo suelto (5.5% a 7.0%). Desde luego, para determinar el contenido óptimo de cemento asfáltico, se procede a desarrollar un diseño que generalmente se basa en la prueba de compresión simple sin confinar como ya vimos anteriormente.

El procedimiento de construcción recomendado es acarrear el material pétreo al camino y acamellonarlo, se cubica y conocido su volúmen se extiende en un ancho de 3 m. con la motoconformadora para luego aplicar la cantidad necesaria de asfalto en tres o cuatro riegos, por medio de una petrolizadora, procediendo inmediatamente a revolver el material utilizando motoconformadora para homogeneizar la mezcla y provocar la pérdida de solventes. En esas condiciones se acamellona en uno de los acotamientos y se procede a extenderla cuando ha perdido gran parte de los solventes, pero previamente se da el riego de liga con un asfalto rebajado de fraguado rápido correspondiente a razón de 0.3 lts/m<sup>2</sup>. Una vez dado el riego de liga, se extiende al ancho requerido y se procede a compactarlo (95%).

### VI.3 MEZCLA EN PLANTA

Las carpetas de mezcla asfáltica en caliente (Ref. 6) son las que se construyen mediante el tendido y compactado de concreto asfáltico, elaborado con una planta fija.

Estas mezclas son las que proporcionan las carpetas de mejor calidad. Están formadas de un material pétreo bien graduado y cemento asfáltico como ligante; se elaboran en una planta que calienta el material pétreo a  $140^{\circ}\text{C}$  ó a  $150^{\circ}\text{C}$  y el asfalto, a una temperatura de  $110$  a  $130^{\circ}\text{C}$ , dosificándose los materiales y mezclándose finalmente, conservando una temperatura elevada.

Las instalaciones de la planta están capacitadas para que después — que el material pétreo este caliente y seco, se separe en diversos tamaños y se mezcle de acuerdo con un diseño granulométrico específico, incorporándole a continuación el cemento asfáltico en la cantidad determinada por el proyecto.

Para entender mejor lo descrito anteriormente, mencionaremos las partes de que consta una planta estacionaria y los dos tipos que existen de acuerdo a su producción.

La planta estacionaria para la elaboración de mezcla asfáltica, consta de los siguientes elementos:

- 1° Tolvas de alimentación de materiales en frío; 3 de preferencia.
- 2° Secador con inclinación variable colocado antes de las cribas clasificadoras. Deberá estar equipado con un pirómetro eléctrico en el conducto de descarga para registrar la temperatura del agregado.
- 3° Cribas para clasificar el material pétreo cuando menos en tres tamaños, con capacidad suficiente para mantener siempre en las tolvas, material disponible para la mezcla. Las cribas son vibratorias, horizontales e inclinadas colocadas sobre las tolvas de los materiales calientes.
- 4° Tolvas para almacenar material pétreo en caliente en diversos tamaños, provistos de una compuerta directamente sobre la báscula, la cual debe impedir la salida del material pétreo cuando esté cerrada.
- 5° Dispositivos que permiten dosificar los materiales pétreos por peso o por volumen. Estos admiten un fácil ajuste de la mezcla en cualquier momento, para poder obtener la curva granulométrica de proyecto, con cierta tolerancia, aceptándose en más o en menos 2% de cada uno de los tamaños.

- 6° Equipo para calentar el cemento asfáltico, instalado de tal manera que no permita contaminaciones y provisto de un termómetro con graduación de 20°C a 250°C para controlar la temperatura.
- 7° Dispositivos que permiten dosificar el cemento asfáltico por peso o por volumen, con una aproximación del 2% en más o en menos de la cantidad fijada.
- 8° Mezcladora del tipo de producción por peso o continuas, equipada con un dispositivo para control de tiempo de mezclado.
- 9° Recolector de polvo y dispositivos para agregados finos.

#### Planta Continua y Planta Discontinua.

Dependiendo del dispositivo para dosificar los materiales pétreos, - las plantas estacionarias para mezcla asfáltica, pueden ser de producción discontinua o de bacias y de producción continua (Fig. 6.2).

- a) Planta discontinua.- este tipo de planta es el más común en la actualidad en nuestro país. También se le llama planta de "bacias".

En esta planta, el material caliente de cada tolva es impulsado en las cantidades necesarias para dar cierta cantidad de mezcla asfáltica a la caja pesadora, pasando después al mezclador, donde se añade el asfalto. Entonces, se mezcla el conjunto durante un minuto o minuto y medio repitiendo después el ciclo. La capacidad del recipiente mezclador en la mayoría de las plantas de este tipo suele variar de 1 000 - a 3 000 Kgs.(Fig. 6.2)

- b) Planta continua.- en este tipo de planta, el material procedente de las tolvas de almacenaje en caliente, se dosifica por medio de compuertas regulables que descargan sobre los alimentadores de material en caliente.

Todos los materiales son transportados en forma continua; el asfalto también fluye continuamente y se regula con una bomba conectada con el mecanismo de dosificación, de tal forma que se obtiene una relación constante de material pétreo y asfalto, independientemente de la velocidad de producción.

## PLANTA DISCONTINUA

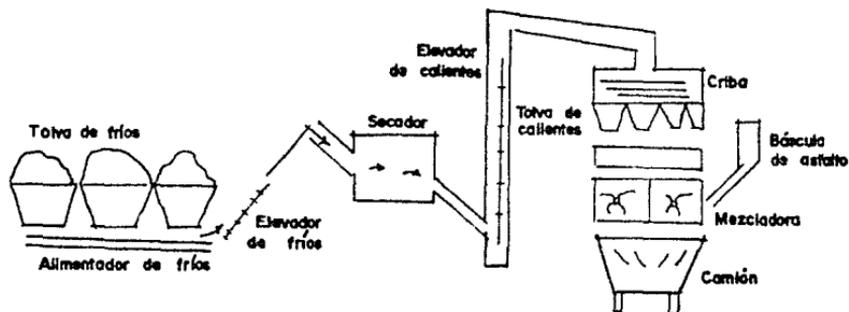


FIG. 6.2

## Tendido y Compactado.

Las mezclas terminadas se transportan en camiones a la extendidora que efectúa el trabajo en capas uniformes, en el espesor y anchos requeridos, pasando finalmente a la etapa de compactación.

La operación de compactación se puede dividir en tres fases:

### 1° Planchado inicial.

Se puede realizar con una aplanadora metálica de tres ruedas (Fig. - 6.3) con peso de 10 a 12 ton, estando la mezcla a una temperatura de  $127^{\circ}\text{C}$  aproximadamente.

El compactador entra en reversa respecto al avance de la extendidora, de tal manera que se logra en esta fase la casi total compactación. Generalmente son suficientes dos o tres pasadas de la aplanadora de tres ruedas, obteniendo una superficie pareja, bien terminada, sin desgarramiento ni depresiones.

### 2° Planchado intermedio.

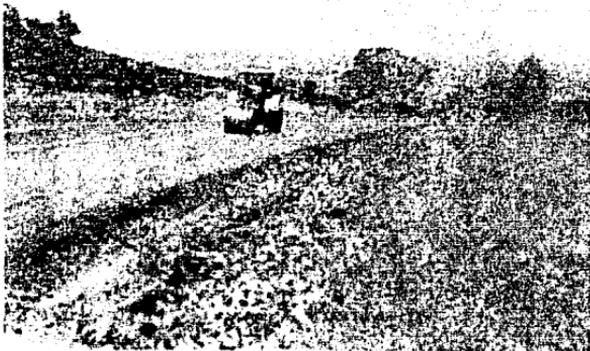
Se realiza con un compactador neumático (Fig. 6.3), a una temperatura de  $71^{\circ}\text{C}$  con tolerancia de 15, en más o en menos.

Este planchado contribuye a impermeabilizar la carpeta y además acumula las partículas de los agregados aumentando la estabilidad. En realidad, esta fase no incrementa notablemente la densidad lograda por la plancha metálica, pero aporta seguridad contra deformaciones bajo condiciones severas de tránsito.

Una vez que se hayan dado las pasadas suficientes, para cubrir toda la superficie del pavimento, deberá suspenderse el apisonado, ya que, nada se ganará con seguir dando pasadas y si hay peligro, en algunos casos, de que se produzcan aflojamientos del cemento asfáltico.

### 3° Planchado final.

Al concluir las pasadas con el compactador neumático, no obstante — que la capa asfáltica, ha quedado debidamente compactada, según la densidad especificada, la superficie pudiera dar la impresión de no encontrarse totalmente terminada. En este caso, el empleo de un compactador de rodillos lisos de acero en tandem (Fig. 6.3), eliminará cualquier huella dejada por los neumáticos, quedando la superficie lisa, como si se hubiera-



TRUCK WITH MULES AT THE FIELD HOUSE



planchado. Este apisonado final deberá ejecutarse antes de que la mezcla se enfríe y endurezca ( $55^{\circ}\text{C}$ ), ya que entonces no podrían hacerse tales correcciones.

#### VI.4 RIEGOS SUPERFICIALES

La construcción de carpetas asfálticas por el sistema de riegos superficiales (Ref. 6) son los más baratos y de vida más corta (2 a 10 años), dependiendo del número de riegos de que conste la carpeta. Se aplica material ligante, generalmente de fraguado rápido FR-3 ó FR-4 ó emulsión de fraguado rápido y material pétreo de diferentes tamaños.

##### Carpeta asfáltica de un riego.

Sobre la base impregnada y limpia de polvo o materiales extraños, se procede a dar un riego asfáltico de fraguado rápido o emulsión de fraguado rápido en la cantidad de 0.9 a 1.1 litros por metro cuadrado de C. A. a una temperatura de  $80^{\circ}\text{C}$  y se cubrirá con material pétreo Núm. 3-A en la cantidad de  $10 \text{ lts/m}^2$ , y se compacta a medida que se avanza en la colocación del material pétreo (Tabla 6.1).

##### Carpeta asfáltica de dos riegos.

Sobre la base impregnada, se procede a dar un riego asfáltico del tipo y cantidad predeterminado ( $0.6$  a  $1.1 \text{ lts/m}^2$ ) y se cubrirá con el material pétreo Núm. 2 en cantidad de 8 a  $12 \text{ l/m}^2$ . Una vez compactado el material pétreo Núm. 2, se procede de inmediato a cubrir con un riego asfáltico de fluxados de fraguado rápido o emulsiones de fraguado rápido a razón de 0.8 a 1.1 litro por  $\text{m}^2$  de cemento asfáltico, y se cubrirá con material pétreo Núm. 3-B y en la cantidad de 6 a  $8 \text{ l/m}^2$ .

El planchado se hará con una aplanadora Tandem o de 3 ruedas de 6 a 10 toneladas de peso, completándose la compactación con rodillos neumáticos.

Para la construcción de las carpetas de tres y cuatro riegos se sigue la secuencia anterior. En la tabla siguiente se muestran los materiales pétreos utilizados en la construcción por el sistema de riegos superficiales.

les, así como el tamaño y las cantidades por aplicar de cada capa tanto de producto asfáltico como de material pétreo en litros por metro cuadrado.

Material Pétreo	Nº 0	Nº 1	Nº 2	Nº 3A	Nº 3B	Nº 3C
Tamaño	38.1 mm. (1 1/2") a	25.4 mm. (1") a	12.7 mm. (1/2") a	4.5 mm. (3/8") a	6.3 mm. (1/4") a	9.5 mm. (3/8") a
Tipo de Carpeta	25.4 mm (1")	12.7 mm (1/2")	6.3 mm (1/4")	Nº 8 (2.38 mm)	Nº 8 (2.38 mm)	Nº 4 (4.76 mm)
	1/m <sup>2</sup>	1/m <sup>2</sup>	1/m <sup>2</sup>		1/m <sup>2</sup>	
4 riegos	C.A. 0.6-1.1 M.P. 35-40	C.A. 1.2-1.1 M.P. 20-25	C.A. 1.0-1.4 M.P. 8-12		C.A. 0.1-1.0 M.P. 6-8	
3 riegos		C.A. 0.6-1.7 M.P. 20-25	C.A. 1.0-1.4 M.P. 8-12		C.A. 0.7-1.0 M.P. 6-8	
2 riegos			C.A. 0.6-1.1 M.P. 8-12		C.A. 0.8-1.1 M.P. 6-8	
1 riego				1/m <sup>2</sup> C.A. 0.9-1.1 M.P. 10		
1 riego						1/m <sup>2</sup> C.A. 0.9-1.1 M.P. 10

C.A.= cemento asfáltico

M.P.= material pétreo

Tabla 6.1

## CAPITULO VII

CONSERVACIONDE CARPETAS ASFALTICAS

La conservación de una carretera consiste concretamente en el aseguramiento de la estabilidad física de todos sus elementos y en el de su correcto funcionamiento proporcionando al usuario información eficiente durante su viaje y un tránsito rápido, cómodo y seguro.

Cualquier obra, por bien construída que sea, requiere trabajos constantes y periódicos que tiendan a evitar la destrucción de sus partes y el deterioro prematuro; estos trabajos generalmente se designan con el nombre de conservación general.

En México, la Secretaría de Obras Públicas tiene a su cargo la planeación, el proyecto, la construcción y la conservación de carreteras federales; participa también en la construcción y el mantenimiento de carreteras en cooperación con los diferentes estados de la República.

El aspecto más importante en la Conservación de Carreteras es la programación y ejecución oportuna. Esto se realiza simultáneamente a lo largo de muchos kilómetros por numeroso personal y equipo, en la que se lleva un minucioso control de las actividades a desarrollar.

Aunque en este capítulo únicamente trataremos los trabajos de conservación de la superficie de rodamiento, mencionaremos que dentro de los programas de conservación normal también se incluyen lo referente a los acotamientos (bacheo, renivelación, construcción, etc.), las obras de drenaje (desazolve de cunetas, alcantarillas, etc.), de los taludes (afinamiento de cortes y terraplenes, mejoramiento de visibilidad, etc.), en el derecho de vía (desyerbe, retiro de cercas y anuncios, derribo de árboles peligrosos, etc.), mantenimiento de señales (reposición, arreglo de fantasmás, pintura, etc.).

Los pavimentos con el transcurso del tiempo sufren una serie de fallas o deterioros que al manifestarse en la superficie de rodamiento disminuyen su capacidad de carga produciéndose baches o deformaciones que impiden proporcionar un tránsito cómodo y seguro al usuario. Estas fallas y deterioros son producidas por la repetición continua de cargas, y por la acción de los agentes climatológicos. Considerando que de todos los elementos que constituyen la carretera, la superficie de rodamiento es el más importante bajo el punto de vista del usuario, es muy necesario corregir oportunamente sus deterioros para evitar que progresen y obliguen a reconstruir la totalidad del pavimento.

Las fallas se producen o se inician en los puntos débiles o deficientes de alguna de las 4 partes fundamentales de la estructura general de la carretera (véase el Cap. I), los cuales no pueden soportar los efectos destructivos mencionados anteriormente, siendo a su vez esas zonas potenciales de falla, la consecuencia de diseños inadecuados, mala calidad de los materiales utilizados, procedimientos de construcción defectuosos, — falta de conservación eficaz y oportuna, etc., de tal manera que las fallas en los pavimentos pueden tener su origen en:

- a) El terreno de cimentación.— cuando está constituido por materiales de mala calidad (suelos orgánicos o muy plásticos; arcillas de origen lacustre, de alta compresibilidad; arcillas de alta plasticidad, expansivas; suelos granulares sueltos; rellenos deficientemente compactados; — suelos de origen eólico, colapsables; fallas de talud), que bajo los efectos de las variaciones de humedad, experimentan cambios volumétricos importantes, que dan lugar a asentamientos, deformaciones y agrietamientos en la superficie de rodamiento. También se puede deber a una baja capacidad de carga o falta de compactación del suelo.
- b) Terracería.— En los terraplenes por acomodo inadecuado de los materiales o falta de compactación, cambios de volumen perjudiciales, etc.
- c) Taludes de los cortes, por inestabilidad de los materiales de los taludes que producen deslizamientos o derrumbes sobre el pavimento (por mala calidad del material, cambios volumétricos perjudiciales con las variaciones de humedad, materiales erosionables, etc.).
- d) En obras de drenaje.— por insuficiencia de alcantarillas y puentes en cuanto a su capacidad o número, ubicación incorrecta o inadecuada de las obras, uso de materiales de mala calidad o inadecuadas en la construcción de estas obras, falta de conservación y limpieza de las obras para remover azolves u otras destrucciones, etc.
- e) En el propio pavimento.— por mala calidad de los materiales pétreos utilizados o defectos en su granulometría, falta de afinidad del material pétreo con el asfalto, exceso de asfalto en la mezcla, baja compactación de la mezcla, espesor escaso de la capa, defectos de tendido, temperatura baja o excesiva del cemento asfáltico al elaborar la mezcla, etc.

Es muy importante tratar de subsanar completamente la deficiencia — que está ocasionando las fallas, para corregir el problema de origen y que no vuelva a presentarse en el mismo sitio, pues es común que se efectúen solamente arreglos provisionales en la zona o subtramo fallado y se dejasin resolver definitivamente el problema, con lo cual muchas veces los — desperfectos progresan rápidamente y después resulta más costosa la reparación.

Cuando las fallas son aisladas y se conoce su origen, puede ser suficiente llevar a cabo reparaciones locales o superficiales que detendrán — en forma definitiva el deterioro.

A continuación presentaremos algunos ejemplos sobre tipos de fallas — más comunes en pavimentos flexibles, sus posibles causas y criterios probables de reparación.

#### VII.1 FALLAS, CAUSAS POSIBLES Y CRITERIOS DE REPARACION

##### 1) Baches.

Son huecos o cavidades irregulares de diferente magnitud y profundidad que se forman en la superficie del camino.

Los baches se deben posiblemente a infiltraciones de agua, falta de adherencia de la carpeta con la base, deficiencias de drenaje en zona de cortes, mal diseño para las cargas que por él transitan, insuficiencia de asfalto, etc.

Para la reparación, debe recortarse el material que se encuentra flojo o que está próximo a soltarse abriendo una caja en forma rectangular, — cortando los bordes verticalmente. A continuación se rocía ligeramente — la cavidad con asfalto diluido (del tipo FH-3) antes de colocar el relleno, el cual consiste en un concreto asfáltico frío o caliente, que luego se compacta a un nivel que permita más tarde, la igualación con el resto — de la superficie, al hacerse la compactación adicional por el tránsito — mismo de vehículos. Finalmente se sella con una solución asfáltica que — puede variar entre 0.45 y 1.13 l/m<sup>2</sup>.

La compactación puede realizarse con apisonadoras manuales, o rodillos de acero para baches mayores.

## 2) Asentamientos.

Son descensos en el nivel original de la superficie provocados por un espesor insuficiente de pavimento, o bien, por compactación o reacomodo local de una o varias capas del pavimento, o de las terracerías, que produce un descenso pequeño y más o menos uniforme de la superficie. La deficiencia del drenaje en la base, también es causa de asentamiento.

Este defecto se corrige, en ocasiones renivelando con mezcla asfáltica, limpiando previamente la superficie y dando un riego de liga. Otras veces, se requiere conocer la causa del hundimiento y en base a ésta, adoptar la solución correspondiente.

## 3) Ondulaciones.

Son levantamientos de la superficie en forma de ondas más o menos pronunciadas, transversalmente al sentido de la circulación, ocasionados por movimientos plásticos de la carpeta en lugares donde se presentan fuertes esfuerzos de arranque y frenaje. En este caso debemos escarificar y eliminar la carpeta, recompactar la base y construir una nueva carpeta de espesor y resistencia adecuadas; es necesario que en estos sitios se construyan pavimentos de mejor calidad que en el resto de la vía (mayor espesor y mayor resistencia).

También puede deberse a la falta de estabilidad de la carpeta, por exceso de asfalto, exceso de finos o partículas redondeadas en el material pétreo.

## 4) Desplazamientos o Corrimientos de la Carpeta en las orillas (Fig. 7.1).

Sus causas pueden ser un espesor insuficiente de la orilla de la capa asfáltica, el peso excesivo de los vehículos antes de compactar debidamente la mezcla ó mezcla plástica por exceso de asfalto.

El trabajo de mantenimiento consiste en eliminar la carpeta desplazada, cajando rectangularmente la zona afectada. Reponer la carpeta en forma adecuada y sellar la nueva capa.

## 5) Grietas longitudinales y transversales (Fig. 7.2).

Son grietas o roturas que aparecen a lo largo o a lo ancho del pavimento. Sus causas más frecuentes son las contracciones o asentamientos del terreno natural, aunque pueden deberse también a debilidad de la base

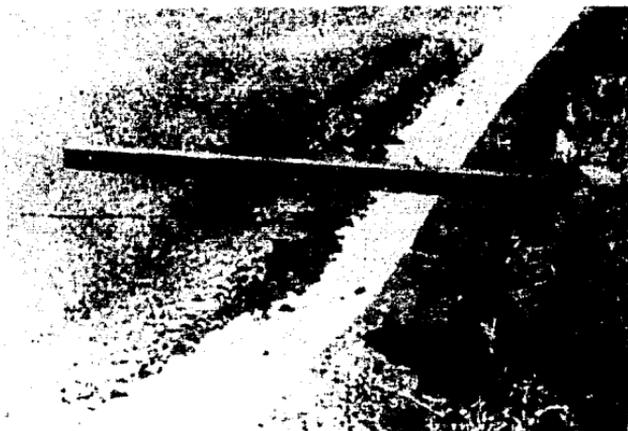


Fig. 7.1 CORRIMIENTO DE LA CARPETA



Fig. 7.2 CORRIMIENTO DE LA CARPETA

y a la presión de un tránsito intenso y pesado sobre la superficie débil o sin la consistencia necesaria.

Si las grietas son muy finas (de aberturas muy pequeñas), es bastante difícil rellenarlas y a veces solo hay que limitarse a tenerlas en observación para ver la forma como progresan. Si la anchura de las grietas es superior a 3 mm, deben barrerse con un cepillo, pero conviene utilizar aire comprimido para secar las materias extrañas de la grieta; ya una vez limpiadas puede verterse asfalto especial para relleno de juntas o puede hacerse una aplicación de lechada asfáltica aunque también se puede utilizar asfalto rebajado y arena que se aplicará manualmente teniendo la fluidez adecuada para penetrar en las grietas. Puede ser necesario que sobre la superficie del sellante recién aplicado se riegue arena seca, para que el tránsito no lo levante.

En algunos casos se producen este tipo de grietas cuando existen sus los expansivos en los taludes de los terraplenes, de tal manera que, al existir cambios bruscos de temperatura, se provocan contracciones en los taludes apareciendo grietas en las orillas de la carpeta. Ampliando estos taludes, de tal forma que se amplíe el acotamiento, de volver a aparecer estas grietas, ya no afectarían a la carpeta sino al acotamiento.

#### 6) Grietas en forma de mapa o de piel de cocodrilo (Fig. 7.3)

Consiste en agrietamientos de la superficie que, en conjunto, forman una serie de pequeños polígonos que recuerdan una piel de lagarto.

Se deben probablemente a un espesor insuficiente del pavimento para las cargas que soporta, ó a pavimentos que se construyen sobre subrasantes resilientes (con rebote elástico). También en la construcción de bases mal compactadas y que tienen poca resistencia.

Por lo general se les aplica una capa delgada de asfalto líquido y se recubren con otra de agregado mineral. En algunos casos puede necesitarse bacheo.

#### 7) Desprendimiento del material pétreo de la carpeta (Fig. 7.4).

Sus posibles causas son una escasa cantidad de asfalto en la mezcla, falta de afinidad del material pétreo con el asfalto, sobrecalentamiento de la mezcla cuando ésta se hace en planta.

Previo barrido de la superficie, aplicar un riego ligero, bien dis-



Fig. 7.3 GRIETAS IN FORMA DE MAPA

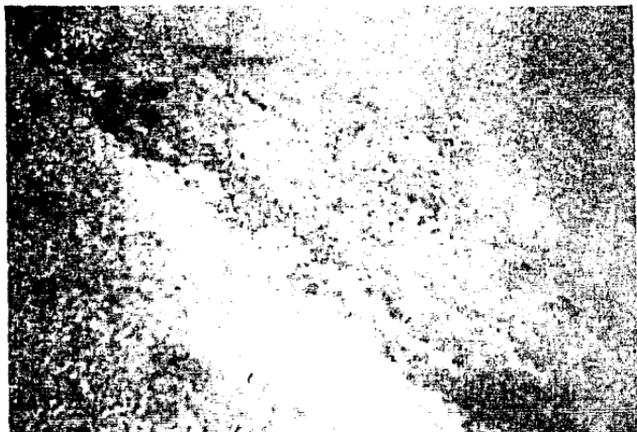


Fig. 7.4 FISSURAS EN FORMA DE MAPA

tribuido y correctamente dosificado, de asfalto rebajado o de emulsión asfáltica, para evitar que el material se continde desprendiendo. Si el — desprendimiento es atribuible a la poca afinidad del material pétrico con el asfalto, se procurará que el material asfáltico que se emplee satisfaga esta propiedad, bien sea solo o mediante el uso de algún aditivo adecuado.

Si el desprendimiento del material es muy pronunciado, puede requerirse la aplicación de un nuevo riego de sello o de una sobrecarpeta y — riego de sello, de características adecuadas.

### 8) Superficie lisa o derrapante.

En general los pavimentos secos, son seguros de transitar, sin embargo existen algunos con ciertos defectos que cuando están mojados son en extremo peligrosos; entre los que se pueden nombrar:

#### a) Superficies lloradas o afloramientos de asfaltos.

El sangrado o llorado es la presencia de exceso de asfalto en la superficie del pavimento.

Se puede deber a un riego de liga excedido de asfalto el cual asciende a la mezcla o bien por exceso de asfalto, cuando se hace la mezcla en planta. Además la presión de las llantas en el pavimento hacen que el asfalto suba a la superficie.

#### b) Superficies con agregados pulidos.

Las partículas de agregados en la superficie de un pavimento son gastadas bajo la acción abrasiva del tránsito; sin embargo existen agregados particularmente algunos tipos de caliza, que llegan a ser pulidos más rápidamente causando este defecto.

La solución es dar un riego de sello con materiales adecuados.

Las soluciones descritas en los incisos anteriores, son de carácter general. Sin embargo, es necesario que en cada caso particular se conozca el origen de las fallas, para que después se pueda proceder a adoptar la solución definitiva correspondiente.

**CAPITULO VIII****CONCLUSIONES**

1° Falta un estudio más racional sobre el comportamiento estructural de las diferentes capas que constituyen el pavimento, así como la interacción entre cada una de ellas.

Se ha intentado calcular la distribución de esfuerzos y deformaciones a través de análisis teóricos como los de Boussinesq y Burmister que consideran sistemas homogéneos, isótropos y linealmente elásticos sujetos a cargas estáticas, lo cual no puede considerarse satisfactorio debido a la heterogeneidad de la estructura, su anisotropía, efecto de cargas móviles o dinámicas que provocan además de los esfuerzos cortantes, esfuerzos adicionales por la aceleración y frenaje.

Un pavimento falla no por la magnitud de la carga sino por las repeticiones de carga móvil, provocando pequeñas deformaciones plásticas que tienden a acumularse hasta provocar la falla. Las deformaciones elásticas son aquellas que se recuperan instantáneamente, siendo probable que se produzca una falla por fatiga (esfuerzos de tensión - en los materiales colocados en la parte superior de la estructura).

2° Efecto de cargas dinámicas.

Los pavimentos están sujetos a cargas móviles, sin embargo, los métodos de diseño se fundamentan en pruebas de laboratorio con cargas - estáticas o con velocidades de aplicación muy lentas correlacionadas con cargas móviles.

Consideraciones:

a) Actualmente se tiende a cargas más pesadas por eje al igual que un incremento de repetición de cargas, lo que implica la necesidad de un estudio más detallado de los efectos de estos factores.

b) El efecto de cargas repetidas es ampliamente estudiado por el - Instituto de Ingeniería de la UNAM en tramos experimentales de prueba.

c) Un factor que complica el análisis de campo es el tráfico mezclado ó variación de vehículos circulando, el cual debemos transformarlo a tránsito equivalente, en función de un eje sencillo que produzca el mismo efecto en cuanto a daño.

d) Obviamente, para la misma carga, un cierto eje es más destructivo con ruedas sencillas que con ruedas dobles o duales.

Una misma carga es más destructiva cuando es soportada por un eje sencillo, que cuando es cargada en ejes tandem.

e) Las principales causas de falla de un pavimento son las deformaciones excesivas y los esfuerzos cortantes que se producen en todo punto de la estructura.

f) Los pavimentos asfálticos pueden fallar por fatiga (grietas de piel de cocodrilo) debido a la aplicación de cargas repetidas.

g) El espesor necesario para garantizar el funcionamiento adecuado es linealmente proporcional, al número de las repeticiones de la carga (ambos en escala logarítmica).

La deformación varía directamente con el logaritmo de cargas repetidas.

h) Las cargas estáticas producen menor deterioro que las rápidas, así, un carril de subida está más dañado que uno de bajada.

i) El módulo de deformación es función del contenido de humedad del suelo y su densidad. Suelos con peso volumétrico seco máximo y contenido óptimo de humedad o alta densidad muestran un mayor módulo de deformación que suelos con contenidos de humedad arriba del óptimo o baja densidad.

j) Mc. Leod sugiere un criterio de diseño para pavimentos flexibles a partir del método propuesto por el Cuerpo de Ingenieros, en el cual, mediante una gráfica que proporciona los valores del V.R.S. y distintas cargas de rueda de los vehículos, obtenemos el espesor necesario para que el pavimento aguante precisamente  $10^6$  repeticiones. En el criterio de Mc. Leod se acepta que con un 25% del espesor para  $10^6$  repeticiones, el pavimento falla con una sola repetición de la misma carga.

3° Se ve la necesidad de que el Ingeniero que se dedique a pavimentos conozca el comportamiento de la carpeta asfáltica (tecnología del asfalto y mezclas asfálticas) y el comportamiento de los materiales granulares (base, y sub-base), además el comportamiento de suelos finos en sub-rasante y terracerías.

4° Falta conocer de una manera más racional el efecto de las condiciones climatológicas.

Todo pavimento está expuesto a las variaciones climatológicas siendo la variación del contenido de agua el más importante, el cual no -

se valda de un modo razonable en el diseño de pavimentos, tal como, - el considerar que el suelo llegará a saturarse ó mantendrá la humedad óptima de compactación.

La Secretaría de Obras Públicas utiliza como prueba de resistencia para calcular el espesor de un pavimento, la prueba modificada de V.R. S., tratando de tomar en cuenta el efecto climático regional, es decir, las condiciones de humedad cercanas a las más desfavorables que pudiera alcanzar el material, originando una disminución apreciable - del V.R.S.

Se han hecho esfuerzos para considerar el efecto de las precipitaciones al diseñar un pavimento, sin embargo, las técnicas seguidas no han sido del todo satisfactorias.

Experiencias llevadas a cabo por el Instituto de Ingeniería de la UNAM en sus tramos de prueba, no mostraron correlación alguna con el comportamiento de las diferentes secciones estructurales para el caso de la prueba modificada.

El Instituto de Ingeniería recomienda el sistema Köppen-Geiger, en el cual se subdivide la República en tres grandes regiones representativas de sus condiciones climatológicas. El estudio que se realiza actualmente consiste en obtener variables que permitan un método de diseño más adecuado como son: definir más certeramente las zonas climáticas, así como sus resistencias relativas, factores regionales, humedades.

- 5° La estructura de una carretera está sujeta a deformación o destrucción, ahora bien, una falla en algunas de las partes que la componen, acarrea inevitablemente no solo la destrucción de esa parte sino de otra u otras; la conservación tiene por objeto evitar que esto suceda y sobre todo que la destrucción sea prematura, ya que toda obra tiene un límite de duración útil, después del cual necesita ser reconstruida o mejorada.
- 6° Finalmente, la carpeta debe proporcionar en el pavimento flexible una superficie de rodamiento estable, capaz de resistir la aplicación directa de las cargas, la fricción de las llantas, los esfuerzos de frenaje, los producidos por las fuerzas centrífugas, los impactos; debe-

tener textura apropiada para permitir un rodamiento seguro y cómodo y un fronaje apropiado. La naturaleza de la carpeta debe ser tal que resista la acción de los agentes del intemperismo, debe tener un color que evite reflejos del sol o de luces artificiales durante la noche.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- Centro de Educación Continua, Curso de Diseño y Construcción de Pavimentos. Facultad de Ingeniería, UNAM.
- 2.- Chavarri M., Apuntes de la Clase de Movimiento de Tierras. Fac. de Ing., UNAM.
- 3.- Corro C., Duhne E., Gutierrez J. La Calificación de Carreteras y su Aplicación en la Planeación y Programación de Obras de Conservación. México, SOP.
- 4.- Corro, C., Diseño Estructural de Carreteras con Pavimento Flexible. Técnica N° 325 del Instituto de Ingeniería de la UNAM. México, D. F., enero, 1974.
- 5.- Echeagaray del Solar, M., Prontuario de la Asignatura de Pavimentos. Facultad de Ingeniería, UNAM.
- 6.- Escario, J.L., Caminos, Tomo II. Publicación de la Escuela Técnica - Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, 1960.
- 7.- Gonzalez Hermosillo, J. Pavimentos de Caminos y Aeropistas. Curso de Pavimentación, Escuela Nacional de Ingeniería, UNAM.
- 8.- Juarez Badillo, E. y Rico, A. Mecánica de Suelos. Tomo II, Editorial Limusa, 1973.
- 9.- Madrazo, M. Aspectos Químicos de los Asfaltos y Mezclas Asfálticas. Escuela Nacional de Ingeniería, UNAM.
- 10.-Mora Cartaya, L. y García Padrón, C. Moderna Tecnología del Petróleo. Publicado por The Institute of Petroleum, Londres (Versión Española), Editorial Reverté, 1963.
- 11.-Rico, A. y del Castillo, H. La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres. Tomo II, Editorial Limusa, 1977.
- 12.-Rogers Martin, J. y Wallace, H. Pavimentos Asfálticos. 1962.
- 13.-Sanchez Rosado, D. Causas e Identificación de fallas en los Pavimentos, Procedimientos de Rehabilitación. Centro de Educación Continua, Facultad de Ingeniería, 1975.

- 14.- Secretaría de Obras Públicas, Especificaciones Generales de Construcción. Parte Cuarta, Parte Octava, Parte Novena (libro Primero). México, D. F., 1971
- 15.- Secretaría de Obras Públicas. Normas y Procedimientos de Conservación y Reconstrucción de Carreteras. México, D. F., 1971.
- 16.- Tlaxler, R. El Asfalto, su Composición, Propiedades y Usos. 1962.
- 17.- Velazquez, M. Manual del Asfalto. 1962.
- 18.- Vivas, A. y Barahona, M. Programación de la Conservación Normal, — Conservación Preventiva de Carreteras. Centro de Educación Continua, UNAM.
- 19.- Yoder, E. J. Principles of Pavement Design. John Wiley and Sons, - 1967.

## REFERENCIAS

- 1.- Centro de Educación Continua, Curso de Diseño y Construcción de Pavimentos. Facultad de Ingeniería, UNAM.
- 2.- Corro, C. Diseño Estructural de Carreteras con Pavimento Flexible. Técnica N° 325 del Instituto de Ingeniería de la UNAM.
- 3.- Instituto Mexicano del Petróleo. Nótionnes Elementales de Construcción y Conservación de Caminos.
- 4.- Madraza, M. Aspectos Químicos de los Asfaltos y Mezclas Asfálticas. Escuela Nacional de Ingeniería, UNAM.
- 5.- Mora Cartaya, L. y García C. Moderna Tecnología del Petróleo. Publicado por The Institute of Petroleum, Londres (Versión Española), Editorial Reverté, 1963.
- 6.- Rogers, J y Wallace, H. Pavimentos Asfálticos. 1962.
- 7.- Ruf, H. Tecnología del Petróleo. Editorial Tecnos, Madrid, 1957.
- 8.- Secretaría de Obras Públicas, Especificaciones Generales de Construcción. Parte Octava, México, D. F., 1971.
- 9.- Secretaría de Obras Públicas, Especificaciones Generales de Construcción. Parte Novena (libro Primero), México, D. F., 1971.
- 10.-Secretaría de Obras Públicas. Manual de Proyecto Geométrico.
- 11.-Tlaxler, R. El Asfalto, su Composición, Propiedades y Usos. 1962.