



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

" PAVIMENTOS FLEXIBLES "

TRABAJO ESCRITO

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

Nora Elisa de Santiago Macedo

MEXICO, D. F.

1985



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

	Pag
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO I.	
SUBRASANTE.....	8
1.1 Funciones.....	8
1.2 Materiales.....	9
En cortes.....	9
En terraplenes.....	10
En subrasante.....	10
Suelos expansivos en terracerías.....	12
1.3 Procedimiento Constructivo.....	13
CAPITULO II.	
SUB-BASE.....	15
2.1 Funciones.....	15
2.2 Materiales.....	15
Pétreos.....	16
Elección de Bancos.....	17
Tratamientos previos.....	19
a) Cribado.....	19
b) Trituración.....	19
c) Estabilización.....	22
d) Compactación.....	23
Control de Compactación.....	27
a) Proctor.....	28
b) Proctor Modificada.....	30
c) Porter.....	31
2.3 Procedimiento Constructivo.....	32
CAPITULO III.	
BASE.....	34
3.1 Funciones.....	34
3.2 Materiales.....	34
Diseño de Pavimentos Flexibles.....	35
a) Método de Hveen.....	36
b) Método del Cuerpo de Ingenieros.....	40
c) Método de la Porter Modificada.....	44
3.3 Procedimiento Constructivo.....	47

CAPITULO IV.

	Pag
CARPETA.....	48
4.1 Características de Pétreos.....	48
4.2 Materiales Asfálticos.....	43
a) Cementos Asfálticos.....	48
b) Asfaltos Rebajados.....	48
c) Emulsiones Asfálticas.....	49
4.3 Tipos de Carpeta y su Construcción.....	50
a) Concreto Asfáltico.....	50
b) Mezclas Asfálticas.....	54
c) Sistema de Riegos.....	57
Un Riego.....	59
Dos Riegos.....	60
Tres Riegos.....	60

CAPITULO V.

RIEGO DE SELLO.....	63
5.1 Funciones.....	63
5.2 Materiales.....	63
5.3 Procedimiento Constructivo.....	64

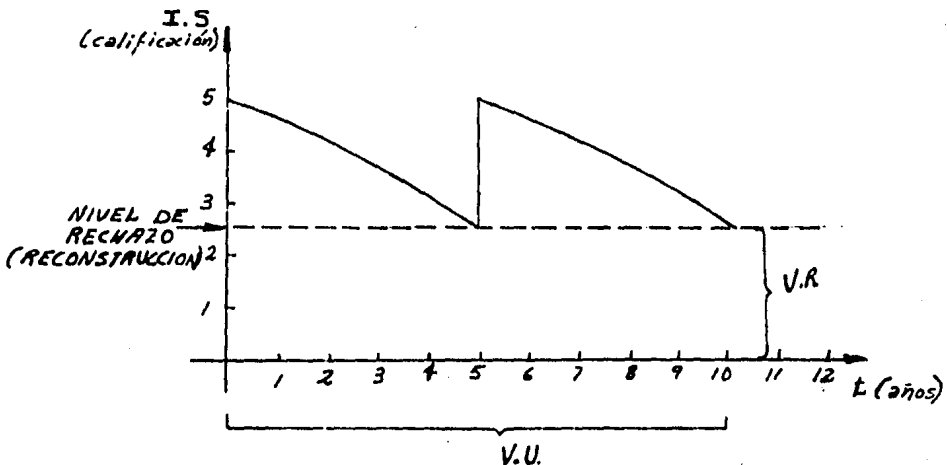
CONTROL DE CALIDAD.

PRELIMINARES.....	65
a) Granulometría.....	67
b) Límites de Atterberg.....	67
c) Contracción Lineal.....	70
d) Prueba de los Angeles.....	71
e) Valor Cementante.....	72

BIBLIOGRAFIA.

I N T R O D U C C I O N .

Un Pavimento es la capa o el conjunto de capas de materiales apropiados, comprendida(s) entre el nivel superior de las Terracerías y la superficie de rodamiento, cuyas principales funciones son las de soportar las cargas rodantes y transmitir adecuadamente a las Terracerías los esfuerzos producidos por éstas; así como de permitir el tránsito de vehículos en forma cómoda, segura y eficiente, con un costo mínimo.



Gráfica.1 COMPORTAMIENTO DE UN PAVIMENTO.

I.S = índice de servicio.

V.R = valor de rescate.

V.U = vida útil.

Los Pavimentos se dividen en Flexibles y Rígidos, estos se diferencian y definen en términos de los materiales de que están constituidos y de como se estructuran dichos materiales. Así, se dice que un Pavimento Flexible es aquel que tiene como superficie de rodamiento una carpeta asfáltica, y un Pavimento Rígido es aquel cuyo elemento fundamental resistente es una losa de concreto hidráulico.

La elección del tipo de Pavimento se basa en las ventajas y desventajas que se tienen para cada caso en particular. Los

Pavimentos Rígidos requieren de poco gasto de conservación, se deterioran poco, pero su costo de construcción es alto ya que los materiales pétreos deben ser de mejor calidad, aunado al uso del cemento Portland, y que el equipo de construcción que se utiliza es más especializado. Los Pavimentos Flexibles requieren menor inversión inicial, pero una conservación más costosa y tienen una menor vida útil.

En nuestro país los Pavimentos Rígidos se utilizan en gran medida en las aeropistas, en zonas urbanas y en algunas calles y avenidas; en otros casos, parece que la balanza se inclina hacia los Flexibles, de los cuales nos ocuparemos en el presente trabajo.

La forma en que generalmente se encuentra estructurado un Pavimento Flexible, de la parte superior a la inferior, es la siguiente: La Carpeta, que está formada por una mezcla de agregado pétreo y un aglutinante asfáltico, la cual constituye la superficie de rodamiento; bajo esta capa se encuentra la base, construida en material granular y abajo, la Sub-base, que también se construye en material granular, aunque menos que la base, pues esta admite suelos de menor calidad, con mayor contenido de fino y menor exigencia en cuanto a granulometría; esto es debido a que la Sub-base se encuentra más alejada de la superficie de rodamiento que la base, por lo que los esfuerzos le llegan con menor intensidad.

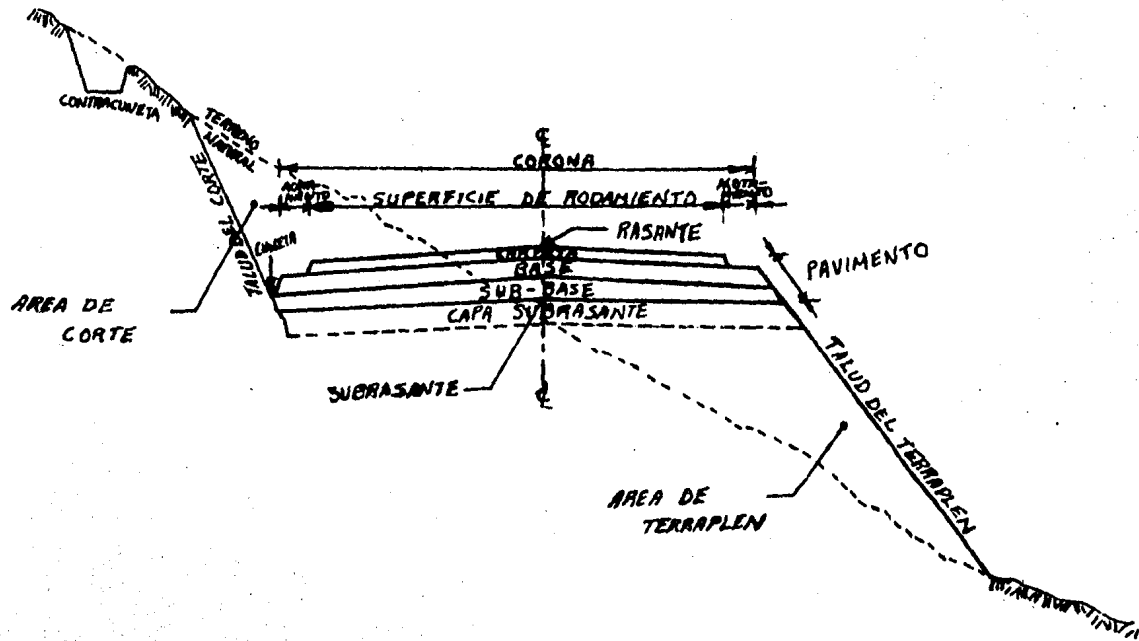
Estas capas son las que constituyen el Pavimento, existen otras capas, sobre las cuales se apoya éste, lo que en conjunto es a lo que llamamos las Terracerías y tienen una gran influencia en el comportamiento de la estructura en conjunto.

Las capas que forman las Terracerías son: la Subrasante, que viene debajo de la Sub-base y todavía con menores requisitos de calidad mínima que ésta, por la misma razón; y el Cuerpo de Terraplén, que se forma del material adecuado, producto de cortes o de préstamos, de acuerdo con lo fijado en el proyecto.

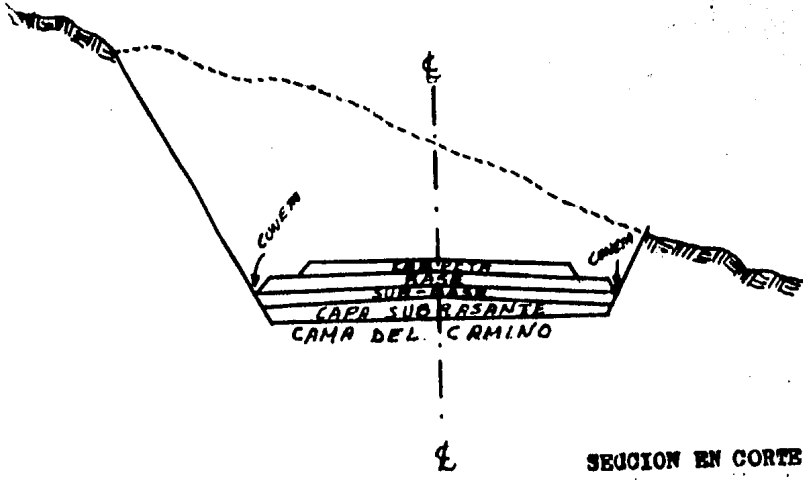
La mayoría de casos de destrucción de la superficie de rodamiento se deben al uso de materiales inadecuados en la formación de las Terracerías, falta de compactación o exceso de humedad en las mismas. Esto no se corrige con el Pavimento, aún cuando sea de gran espesor. Por eso es importante investigar si existe en las Terracerías exceso de humedad, arcilla o cualquier material de poca resistencia, de límites plásticos y líquidos inadecuados, o de contracciones y expansiones excesivas por ejemplo:

Es norma no aceptar en el Cuerpo de Terraplén, los materiales MH, OH y CH *, cuando su límite líquido es 100%, debido a la deformabilidad, pues ésta parece ser el requisito básico para

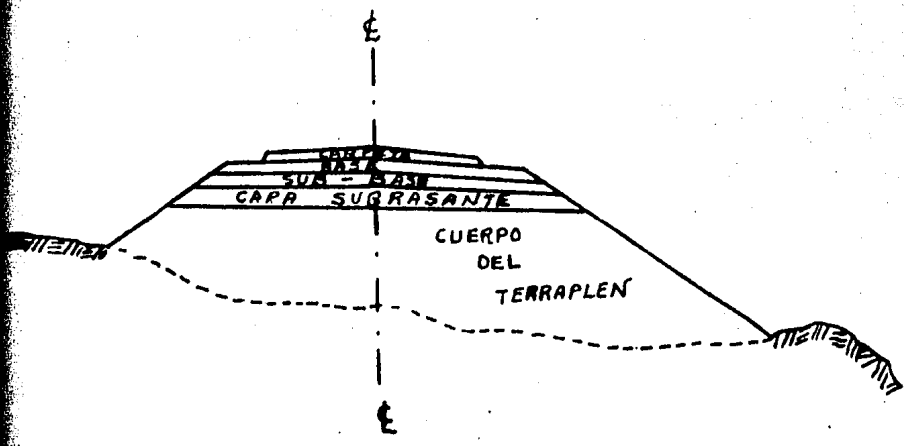
* MH = Limo de alta compresibilidad, CH = Suelo orgánico de alta compresibilidad y OH = Arcilla de alta compresibilidad.



SECCION EN BALCON
 FIG. 1a.



SECCION EN CORTE.FIG. 1b



SECCION EN TERRAPLEN.FIG. 1c

aceptación o rechazo de un material de Terracería y también la que condiciona su buen comportamiento como soporte de un buen Pavimento.

En resumen, las capas que generalmente constituyen un Pavimento Flexible, mencionadas de las superiores a las inferiores son: Carpeta Asfáltica (con o sin sello), base y Sub-base.

El Pavimento se construye sobre las Terracerías, que están formadas por la capa Subrasante y el Cuerpo del Terraplén y toda la estructura se apoya en el terreno natural.

La Sección Transversal de un camino en un punto cualquiera de este, es un corte vertical normal al alineamiento horizontal. Permite definir la disposición y dimensiones de los elementos que forman el camino en el punto correspondiente de cada sección y su relación con el terreno natural.

Las secciones generalmente se presentan en tres tipos: en Balcón, en Corte y en Terraplén. En las figuras 1a, 1b y 1c, se muestran estos tipos de Sección, con los elementos más importantes para nuestro estudio.

Los principales elementos que influyen en el comportamiento de un Pavimento son: económicos, regionales (topografía, precipitación, drenaje, etc.) , los materiales y el tránsito.

La construcción de un Pavimento debe ser lo más económica posible, esto es, se debe tener el menor costo de construcción, de mantenimiento y operación durante la vida útil para la cual fue proyectado, para esto se deberá construir con los materiales y las técnicas adecuadas al uso que se le va a dar. Por ejemplo, en caminos de muy escaso tránsito, las razones económicas impondrán el uso de superficies de rodamiento de bajo requerimiento, formadas por material granular con finos, bien seleccionados y compactados; será posible así, obtener una superficie de bajo costo que pueda proporcionar durante algún tiempo condiciones apropiadas de transitabilidad.

Antes de comenzar el proyecto de un camino, debe hacerse el análisis de los enlaces carreteros necesarios entre los polos de concentración y distribución de la producción y los centros consumidores. O sea, se hace basado en las relaciones producción-consumo de las actividades agrícolas, ganaderas, pesqueras, industriales, turísticas y culturales. Para hacer lo anterior se procede a realizar un estudio de Origen y Destino de las poblaciones que se pretende comunicar. La forma en que se efectue este estudio, estará regida por el número de habitantes de las poblaciones, su índice de desarrollo y la potencialidad económica de la zona. Con los datos anteriores se podrá conocer el tipo y volumen de vehículos que harán uso del camino, lo cual regirá su diseño.

Uno de los factores que más influye en el comportamiento de los Pavimentos es el drenaje, tanto superficial como subterráneo, ya que esto podría reducir en forma considerable la vida útil del camino. El drenaje debe proyectarse de tal forma que el agua de lluvia se aleje de ellos lo más posible, para esto se proyectan obras longitudinales o transversales, como son: bombeo, cunetas, canales laterales, etc., con las cuales se resuelve el problema del agua superficial, aunque es el agua subterránea la que causa mayores problemas, por lo que es importante en los estudios geotécnicos detectar las zonas que requieran obras especiales como son: sub-drenes, drenes laterales, etc.

Debe tenerse cuidado al resolver el problema del drenaje, ya que de no ser así, el comportamiento del Pavimento no será adecuado aunque su espesor sea considerable.

Otro de los factores que deben tomarse en cuenta en el problema del proyecto es la multitud de materiales, con propiedades diferentes, que se traducen en ventajas e inconvenientes. Esto se complica al considerar los límites de calidad de materiales, así como el espesor utilizado, que varía de una capa a otra, de un clima a otro y de una topografía a otra.

El Tránsito es otro de los factores a considerar, pues sus efectos no son muy conocidos, ya que este varía en intensidad y número de vehículos, en calidad y peso de los mismos; y es una carga móvil, repetida, causante de esfuerzos transitorios y de efectos como la fatiga, el rebote elástico, etc. Este factor es importante, ya que sus características serán la base para el proyecto de este tipo de obras.

Existe una gran diversidad de vehículos, los cuales se pueden agrupar en: automoviles, autobuses, camiones de carga, etc., los cuales tienen diferentes capacidades de carga, que transmitida al Pavimento de acuerdo con la presión de las llantas, la colocación de los ejes y la disposición que en el extremo de estos tengan las llantas.

La principal característica que nos interesa de los vehículos es la forma en que transmiten las cargas al Pavimento, de acuerdo con la presión de las llantas, ya sea con o sin carga, por lo que es necesario conocer lo siguiente:

- Tipo de vehículo y peso (con o sin carga)
- Presión y disposición de las llantas
- Carga por rueda
- Tránsito diario promedio por tipo
- Velocidad de Tránsito

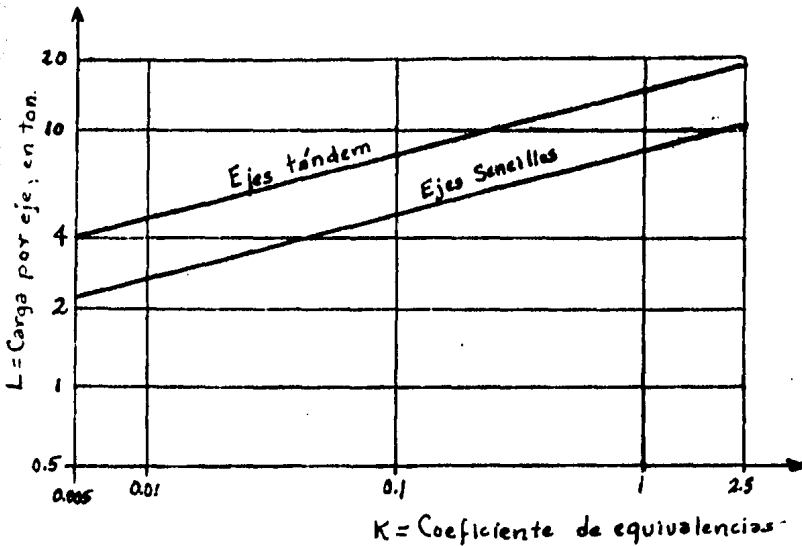
Para los estudios de planeación, se deben conocer las siguientes características:

- Volúmen y composición de los vehículos

- Tasa de crecimiento
- Vida o período de diseño
- Geometría de la sección y distribución del Tránsito.

Para tomar en cuenta el factor de Tránsito es necesario homogeneizarlo, para simplificar su manejo, pues no solo es cuestión de contar con vehículos, sino tomar en cuenta sus características.

Debe señalarse que el daño estructural producido por las cargas aumenta rápidamente al aumentar la carga por eje. Esto puede verse en la gráfica 2, que presenta resultados de la prueba AASHTO *, mostrando el coeficiente de equivalencia de cargas en ejes sencillos y en ejes tandem; 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 manera semejante, hay mucha diferencia entre los daños producidos por ejes sencillos o tandem que tengan el mismo peso, de manera que un eje sencillo causa el mismo deterioro que 12 tandems que pesen lo mismo que él.



Gráfica 2. COEFICIENTES DE EQUIVALENTES DE CARGA.

* AASHTO (American Association of States Highway and Transportation Officials)

Criterio de Carga Equivalente.

Entre los criterios que existen para homogeneizar el tránsito, tenemos el que realizó el Departamento de Carreteras de California, que por estar basado en estadísticas locales, no puede utilizarse en otras zonas, sin antes hacerle adaptaciones. Este criterio expresa al tránsito por medio del concepto "Índice de Tránsito", descrito por la fórmula:

$$IT = 6.7 \times \frac{CE}{10} = .119$$

En donde:

CE, es el número de ruedas de 2270 kg. (5000 lbs.), que equivalen al tránsito real del camino, dentro del período de diseño, que se calcula con los factores de equivalencia a vehículos de varios ejes, que se muestran en la siguiente tabla:

TABLA 1.

Factores de equivalencia para llantas en arrreglo Dual de vehículos de varios ejes con la rueda estandar de 2270 Kg (5000 Lb).

Valor de la carga equivalente (CE) para un año de servicio del Pavimento			
Núm. de ejes del vehículo	Carreteras Principales	Carreteras Secundarias	
2	280	200	
3	930	690	
4	1,320	1,070	
5	3,190	1,700	
6	1,950	1,050	

Los ingenieros del Departamento de Carreteras de California consideran que la rueda equivalente tiene una presión de inflado de 4.9 kg/cm² (70 lb/plg²).

Se requiere hacer una estimación del número diario de vehículos, agrupados según su número de ejes. La reducción a la carga estandar se hace multiplicando los factores de la tabla anterior por el número de vehículos diarios de cada tipo, lo cual proporciona el número de vehículos con carga estandar que producirán los mismos efectos sobre el Pavimento que el que causarían los vehículos reales circulando todo el año. Aplicando éste a los

diferentes vehículos reales y sumando los resultados finales, se llega al número de repeticiones de la carga estándar en el año en estudio.

Esta es una forma de homogeneizar el tránsito. En México, generalmente se emplea como carga estándar la de un eje de 8.2 ton.

Todos estos factores están contemplados de alguna forma en los capítulos que siguen a éste; en los cuales se describen las principales características de cada una de las capas que constituyen un Pavimento Flexible, en forma ascendente, es decir, desde la capa subrasante (que es en donde se apoya el Pavimento), en el primer capítulo, hasta el riego de sello (que se le da a la superficie del Pavimento), en el último capítulo. Estas características son: materiales que se emplean, funciones de la capa y método constructivo. Además se dan otros conceptos ligados al diseño y la construcción de Pavimentos Flexibles.

La capa Subrasante es la que va colocada debajo del pavimento; las especificaciones dicen que deberá tener como mínimo 30 cm de espesor, y se forma con una o varias capas de material seleccionado, del espesor parcial que fije el proyecto. Aunque forma parte de las terracerías, se proyecta al mismo tiempo que el pavimento.

Terracerías.- es el conjunto de cortes y terraplenes de una obra vial, ejecutados hasta la Subrasante.

Cortes.- son excavaciones ejecutadas a cielo abierto en el terreno natural, con objeto de preparar y/o formar la sección de la obra, de acuerdo con lo fijado en el proyecto.

Terraplenes.- son estructuras ejecutadas con material adecuado producto de cortes o de préstamos, de acuerdo con lo fijado en el proyecto.

I.1 FUNCIONES.

-Resistir los esfuerzos de los vehículos, que le son transmitidos por el pavimento y transmitirlos al resto de las terracerías.

-Evitar la contaminación de la parte inferior del pavimento con los materiales que forman el cuerpo del terraplén y evitar la incrustación del pavimento en el cuerpo de terraplén, en el caso de que esté formado por fragmentos de roca.

-Evitar que las imperfecciones de la cama de los cortes en roca, se reflejen en la superficie de rodamiento.

-Disminuir el costo de las capas del pavimento, principalmente cuando se tienen terracerías de baja calidad.

-Uniformizar los espesores requeridos de pavimento, al compensar la variación de resistencia en las terracerías.

I.2 MATERIALES

Los materiales que se emplean en terracerías son los que provienen de la corteza terrestre, ya sea que se extraigan de cortes o préstamos; pueden emplearse solos, mezclados o estabilizados con otros materiales naturales o elaborados de tal forma que reúnan características adecuadas para su uso. Estos materiales son generalmente finos, por lo que se usa, como complemento para su clasificación, la Carta de Plasticidad que se muestra en la siguiente figura:

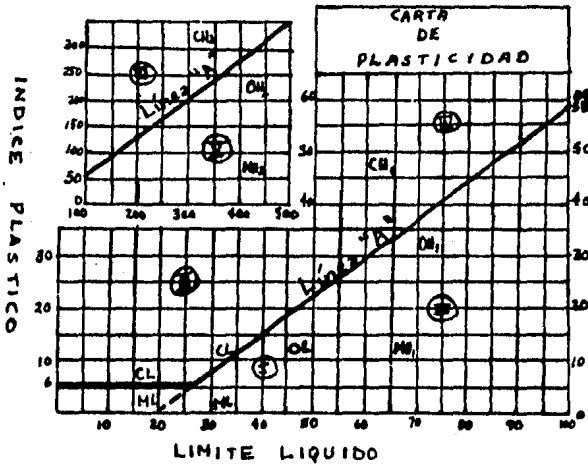


Fig. I.1

De acuerdo con la dificultad que presentan para su extracción y carga, los materiales de cortes se clasifican en:

Material A.- Blando o suelto; son los suelos poco o nada cementados, con partículas hasta de 7.6 cm. (3"). Los más comunes son los suelos agrícolas, los limos y las arenas. Puede ser excavado con meteoescopa.

Material B.- Piedras sueltas menores de 75 mm. y mayores de .

de 7.6 cm (3"). Los más comunes son las rocas muy alteradas, conglomerados medianamente cementados, areniscas blandas y tepetates. Solo pueden ser excavados por tractor de orugas con cuchilla de inclinación variable.

Material C.- Piedras sueltas mayores de 75 cm Los más comunes son las rocas basálticas, las areniscas y conglomerados fuertemente cementados, calizas, riolitas, granitos y andesitas sanas. Solo puede ser excavado mediante el empleo de explosivos.

Los materiales que se emplean en la construcción de terraplenes se clasifican en:

- a) **Materiales compactables.-** Como su nombre lo indica, se pueden compactar y son del tipo A y B, además de otros.
- b) **Materiales no compactables.-** No se pueden compactar y son del tipo C, además de otros.

En el caso de la Subrasante, los materiales que se utilizan, deben cumplir con las normas de calidad que se indican en la última columna del siguiente cuadro:

**			**	**
*			*	GW
*			*	GP
*		Gravas	(*
*			*	GM
*			*	GC
*			**	*
*	Gruesos	(*	*
*			**	*
*			*	SW
*			*	SP
*		Arenas	(*)
*			*	SM
*			*	SC
*			**	*
*			**	*
*			*	HL
*		< 50	(CL
*			*	DL
*			**	**
SUELOS	(**	**
*			*	MH1
*			*)	*
*			*)	95% Compactación
*	Finos	(50 < L.L < 100	(
*			*	CH1
*			*	**
*			*	*
*			*	DH1
*			**	*
*			**	*
*			*	MH2
*			*	*
*			> 100	(
*			*	CH2
*			*)	No deben usarse
*			*	*
*			*	DH2
*			**	*
*			**	*
*	Altamente		*	*
*	Orgánicos	(Turba	(
*			*	PT
*			*	*
**			**	**

NOTA: No deberan usarse materiales con V.R.S. (Saturado) < 5% o Expansión > 5%

G Grava	MH1 Baja o mediana Plasticidad
S Arena	CH1 Alta Plasticidad
M Limo	MH1 Mediana Plasticidad
C Arcilla	MH2 Alta Plasticidad
W Bien graduado	CH2 Muy alta Plasticidad
P Mal graduado	OH2 Alta Plasticidad
l Baja Compresibilidad	ML Ligeramente Pl/asticas
H Alta Compresibilidad	CL Baja o mediana Plasticidad
O Suelo Organico	OL Baja Plasticidad
PT Turba	

En algunos casos pueden emplearse, en la capa Subrasante, materiales estabilizados con cal, cemento portland, materiales puzolanicos, o materiales asfálticos, siendo necesario hacer los estudios y proyectos correspondientes.

IMPORTANCIA DE LOS SUELOS EXPANSIVOS EN EL COMPORTAMIENTO DE LOS PAVIMENTOS.

Los suelos expansivos son los arcillosos o con muy importante contenido de arcilla. Son los denominados activos, cuya característica es sufrir grandes cambios de volumen cuando varia su contenido de agua.

Los efectos principales que un suelo expansivo puede provocar en un pavimento flexible son:

- a) Contracción por secado.
- b) Expansión por humedecimiento.
- c) Desarrollo de presiones por expansión sobre los suelos confinados en que ésta se restringe.
- d) Disminución de la resistencia al esfuerzo cortante y de la capacidad de carga como consecuencia de la expansión.

Es común que varios de estos efectos se presenten simultáneamente. Los daños típicos de los hechos anteriores en un pavimento flexible son generalmente de uno o más de los siguientes tipos:

- a) Elevaciones o descensos de la superficie de rodamiento en una longitud importante, que se traducen en desigualdades e irregularidades, aunque no produzcan agrietamiento u otros daños visibles.
- b) Agrietamiento Longitudinal.
- c) Deformaciones significativas localizadas por ejemplo en torno

a las alcantarillas, generalmente acompañadas de agrietamiento.

- d) Agrietamiento generalizado (piel de cocodrilo) en la carpeta, con tendencia a desintegración.

Para tomar en cuenta la presencia de suelos expansivos en el comportamiento de un pavimento flexible se debe hacer una estimación de las condiciones de humedad y demás propiedades significativas en el momento de la construcción y de los cambios de contenido de agua que van a ocurrir durante la vida útil del pavimento y de su influencia en aquellas propiedades significativas. También es conveniente establecer criterios de clasificación de suelos finos, bien sea en el laboratorio, o quizá mejor aún, en el campo, que en forma sencilla puedan detectar la presencia de suelos expansivos, poniendo en guardia al ingeniero.

La humedad en el material es un factor que siempre debe ser bien controlado. Para esto contamos con la determinación, en el laboratorio del contenido óptimo de humedad; que es la cantidad de agua contenida en la muestra, con la que se obtuvo el peso volumétrico máximo, expresada como porcentaje del peso seco máximo de la muestra.

Haciendo pruebas en el campo, en los bancos y cortes de donde proceden los materiales para las terracerías, podemos conocer la cantidad de agua que debemos agregarle o quitarle al material. Es conveniente, para compensar la que se pierde por evaporación, agregar agua un poco en exceso de la humedad óptima. La compactación la daremos sin dificultad, con el equipo adecuado, si el contenido de agua en los materiales es conveniente para que lleve a cabo su función de lubricante para el acomodo de las partículas de los suelos. Cuando la cantidad de agua es considerable y siempre que la condiciones de espacio, pendiente adecuada, ubicación del agua, etc. lo permitan, es conveniente agregar agua necesaria para la compactación, directamente en el banco de materiales. Esto se hace después de arar o aflojar la superficie del banco a una profundidad tal que permita el tránsito de las pipas.

El equipo que se ha encontrado más apropiado para agregar agua a las terracerías, ha sido el de pipas de 8 m³ que riegan el agua en abanico, cubriendo una buena superficie por pasada. El tamaño y peso de estas unidades permiten bastante maniobrabilidad en la construcción de terracerías, sobre todo en caminos relativamente angostos, porque pueden también entrar y salir de la zona de tiro rápidamente después de cumplir con su cometido, sin estorbar a los compactadores ni a las unidades de acarreo y depósito de materiales.

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.

En la construcción de la Capa Subrasante se pueden tener cuatro casos, y son los siguientes:

Caso 1.- En terraplén; se trae material de préstamos o de cortes.

Caso 2.- En buen material en corte; se escarifica, se extiende, se humedece y se compacta el material.

Caso 3.- En mal material en corte; se excava 30 cm abajo del nivel de la Subrasante y se sustituye el material.

Caso 4.- En corte, en roca (Mat.C); se excava o vuela a una profundidad de 30 cm abajo de la Subrasante de proyecto, para formar la cama, no debiendo quedar salientes de roca de más de 15 cm; se rellena con material adecuado, obtenido de los sitios que fije el proyecto y se compacta.

En general, la construcción de la capa Subrasante se realiza de la siguiente forma:

Cuando se emplean dos o mas materiales, se hace la mezcla en seco, para obtener un material uniforme.

El mezclado y el tendido, generalmente se hacen con motoconformadora y se hacen de la siguiente forma: se extiende el material parcialmente y se procede a incorporarle agua por medio de riegos y mezclados sucesivos, para alcanzar la humedad que se fije. Esto se hace hasta obtener homogeneidad en granulometría y humedad. Después se extienden capas sucesivas de material, cuyo espesor no debe ser mayor de 15 cm; cada capa se compacta hasta alcanzar el grado mínimo fijado. Efectuada la compactación de una capa de material, su superficie se escarificará y se agregará agua, si es necesario, antes de tender la siguiente capa, a fin de ligerlas debidamente, sobreponiéndose las capas hasta obtener el espesor y sección fijados en el proyecto. Se dan riegos superficiales de agua, durante el tiempo que dura la compactación, para compensar la pérdida de humedad por evaporación.

En las tangentes, la compactación se inicia de las orillas hacia el centro y en las curvas, de la parte interior de la curva hacia la parte exterior.

Para dar por terminada la construcción de la Subrasante, incluyendo su afinamiento, se verificará su alineamiento, el perfil y la sección en su forma, anchura y acabado.

Sus tolerancias son:

Niveles en Subrasante	+ - 3 cm
Ancho de la corona al nivel de Subrasante, del centro de la línea a la orilla	+ 10 cm

Capa de material seleccionado que se construye sobre la subrasante.

II.1 FUNCIONES.

- Su principal función es la de soportar las cargas rodantes y transmitir las a las terracerías, distribuyéndolas en tal forma que no se produzcan deformaciones perjudiciales en éstas.
- Sirve de transición entre el material de base, que generalmente es granular, mas o menos grueso, y la subrasante, generalmente formada por materiales finos.
- Al ser la Sub-base más fina que la base, actúa como filtro de la base e impide la incrustación de ésta en la subrasante.
- También se coloca para absorber deformaciones perjudiciales de las terracerías, por ejemplo, cambios volumétricos asociados a variaciones de humedad, impidiendo que se reflejen en la superficie del pavimento.
- Actúa como dren para desalojar el agua que se infiltre al pavimento y para impedir la ascensión capilar hacia la base, de agua procedente de las terracerías; al ser una capa impermeable.

II.2 MATERIALES.

Para su construcción se emplean materiales pétreos seleccionados por sus características físicas.

En nuestro país, estos materiales se obtienen en forma natural, por disgregado, por cribado, o por trituración y cribado.

Así se clasifican en la siguiente forma:

Materiales que no requieren tratamiento.- Son los poco o nada cohesivos, como limos, arenas y gravas, que al extraerlos quedan sueltos y que no contengan más del 5% de partículas mayores de 51 mm (2").

Materiales que requieren ser disgregados.- Son los tezontles y los cohesivos como tepetates, caliches, conglomerados, aglomerados y rocas muy alteradas, que al extraerlos resultan con terrones y que una vez sometidos a la acción del equipo de disgregación no contengan más del 5% de partículas mayores de 51 mm (2").

Materiales que requieren ser cribados.- Son los poco o nada cohesivos, como mezclas de gravas, arenas y limos, que al extraerlos quedan sueltos y con un contenido entre el 5% y el 25% de material mayor de 51 mm (2").

Materiales Que Requieren Ser Triturados Parcialmente y Cribados.- Son los siguientes:

a) Materiales poco o nada cohesivos, como mezclas de gravas, arenas y limos, que al extraerlos quedan sueltos y contienen más del 25% de partículas mayores de 51 mm(2").

b) Tezontles y Materiales Cohesivos, como tepetates, caliches, conglomerados, aglomerados y rocas alteradas, que al extraerlos resulten con terrones que pueden disgregarse por la acción del equipo mecánico y que posteriormente a dicho tratamiento contienen más del 5% de partículas de tamaño mayor de 51 mm(2").

Materiales Que Requieren Ser Triturados Totalmente y Cribados.- Son los que provienen de:

- a) piedra extraída de mantos de roca.
- b) piedra suelta de depósitos naturales o desperdicios.
- c) piedra de pepena.

Se pueden usar en su construcción suelos con un mayor contenido de partículas finas de baja plasticidad, que en la base. Esto quiere decir que los suelos empleados en la Sub-base pueden ser mas deformables que en la base, su espesor está íntimamente ligado a las propiedades de la subrasante.

En lugares de alta precipitación pluvial, se deben usar materiales poco permeables, para evitar que el agua llegue fácilmente a la subrasante

Los materiales que más se usan son las gravas-arenas procedentes de ríos, que en la mayoría de los casos es necesario mezclarlas con otro material que posea ciertas características que complementen las de éstas. Estos materiales se prefieren, debido a lo económico de su extracción y de su tratamiento.

En Sub-bases es común el uso de los conglomerados y las areniscas.

En ocasiones se emplean algunos tipos de rocas alteradas o rocas procedentes de mantos, depósitos, pepena, etc. En ambos casos, dichos materiales se usan solo cuando cumplen con los requisitos especificados, como sucede con las calizas, pero en ocasiones es necesario incorporarles algún otro material triturado, como es el caso del basalto.

MATERIALES PÉTREOS PARA LA CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS Y SUS TRATAMIENTOS.

Agregados Pétreos.

Los agregados pétreos son fragmentos duros y resistentes, libres de materiales contaminados conforme a las siguientes especificaciones granulométricas (materiales más usados en obras civiles):

Agregados para Caminos.

- Materiales de Sub-base: 0 - 2"
- Material de base: 0 - 1 1/2"
- Material de Carpetas: 0 - 3/4"
- Material de Sello: 3/16" - 3/8"

Obtención de los agregados.

La materia prima para la producción de agregados, se obtiene de bancos de roca o de yacimientos de agregados naturales de río o depósitos de aluvión, conglomerados, etc., fundamentalmente.

Las rocas se dividen en 3 grandes categorías geológicas:

- a) Rocas Igneas (basaltos, granitos, riolitas, andesitas).
- b) Rocas Sedimentarias (caliza, arenisca, dolomitas).
- c) Rocas Metamórficas (esquistos, gneiss, mármol)

Estados Unidos Norma ASTM

DESIGNACION DE LA MALLA	CLARO ENTRE ALAMBRES (EN MM)
3"	76
1 1/2"	38
3/4"	19
1/4"	6.3
num 4	4.76
" 8	2.38
" 16	1.19
" 30	0.59
" 50	0.297
" 100	0.149
" 200	0.074
" 400	0.037

Los materiales pétreos que se emplean en la construcción de pavimentos constituyen uno de los aspectos principales para que éstas estructuras proporcionen con eficiencia el servicio dentro de las condiciones previstas en el proyecto.

ELECCION DE BANCOS.

Con objeto de llevar a cabo los trabajos preliminares para la localización de bancos de materiales, es necesario contar con un plano de la región por explorar, de preferencia que éste plano sea fotográfico y de ser posible fotointerpretado, de no contarse con éstos datos se necesitará un plano en el que se tengan ubicados los ríos existentes, los accidentes topográficos importantes, las poblaciones con sus vías de acceso, la existencia de minas o canteras en explotación o que hayan sido explotadas, etc. Además, deberá recabarse con los habitantes de la región, información sobre la obtención de los materiales de construcción empleados en la zona por explorar y vaciarla en el plano, en el cual también se deberá señalar el desarrollo del camino por pavimentar o la ubicación de la obra de que se trate.

Los factores básicos que deben considerarse para seleccionar los bancos, entre otros, son los siguientes: calidad, accesibilidad, tratamiento y costos.

Los bancos de materiales se presentan en la naturaleza en varias formas, siendo las más comunes las siguientes:

a) Playones de ríos.

Estos bancos se forman por la sedimentación de los materiales que arrastran los ríos desde su nacimiento en las partes altas de las montañas hasta su desembocadura en los mares y lagos.

b) Depósitos.

En general están formados por materiales que llenaron algunas depresiones del terreno natural, que llegaron ahí por medio de arrastre fluvial, glacial o por eyección de volcanes, etc.

c) Mantos de roca.

Las rocas que constituyen los referidos bancos pueden ser de origen ígneo, sedimentario o metamórfico. La forma en que se presentan las rocas en los mantos puede ser en masas sólidas y duras, en formas estratificadas, en fragmentos y en alguna otra variante, caracterizadas en ocasiones por origen de la roca.

d) Conglomerados.

Son formaciones de origen sedimentario y están constituidos por gravas con o sin fragmentos de roca y cantidades apreciables de arena, que generalmente han sido depositados por corrientes fluviales, todo lo cual ha sido cementado posteriormente con materiales acarreados. Estos bancos se encuentran generalmente en las proximidades de corrientes fluviales, en cauces antiguos.

e) Aglomerados.

Son formaciones de mezclas heterogéneas, poco o nada cementadas, de gravas, arenas, limos y arcillas, los cuales son de origen sedimentario.

f) Zonas de pepena.

Estas son zonas donde sobre la superficie del suelo se encuentran fragmentos duros de roca, cuyo origen geológico puede ser variado. Estas zonas se formaron por erosión de la roca, o por erupciones volcánicas, quedando sobre el terreno los corazones o fragmentos más duros.

Para la formulación del inventario de bancos deberá recabarse de todos ellos la información disponible en archivos, la cual incluirá, tanto los datos de los bancos explotados con anterioridad que todavía tienen volúmenes aprovechables, como los que se vayan estudiando para nuevas obras.

TRATAMIENTOS PREVIOS.

Los tratamientos a que se deben someter los materiales procedentes de bancos, para los diferentes usos en los trabajos de pavimentación, pueden ser procedimientos tan sencillos como la eliminación de los desperdicios a mano, hasta tratamiento de trituración total y separaciones en diferentes tamaños para su dosificación en planta, existiendo también otro tipo de tratamientos como disgregación, cribado, trituración parcial y lavado de materiales.

a) Cribado.

La operación de cribado se efectúa dependiendo de la etapa de pavimentación y del tipo de material, la cual puede hacerse con una criba de gravedad, que consiste en una malla cuya abertura es el máximo tamaño aceptado para dicho material; 2" (5.08 cm) para sub-base y 1 1/2" (3.81 cm) para base, con una inclinación variable del orden de 30 grd y una tolva de entrada formada por tablonces de madera. La operación consiste en descargar sobre la tolva el material proveniente del banco y por gravedad pasarlo a la criba, para después caer sobre un camión, el material de mayor tamaño cae fuera de la criba como desperdicio. Este método se utiliza en materiales que en general presentan una buena granulometría en estado natural, como es el caso de algunos depósitos de grava-arena.

Cuando se requiere una buena dosificación o elección de material de diferentes tamaños, se usa una criba vibratoria, esto generalmente se combina con el tratamiento de trituración. Para tamaños mayores de 1" se utilizan las cribas de rejillas vibratorias y en materiales para carpetas de riego se usan generalmente las cribas rotatorias.

El equipo de cribado puede complementarse con alimentadores, transportadores y tolvas, cuando no forma parte de una planta de trituración.

b) Trituración.

La trituración es el tratamiento para obtener del material en estado natural, proveniente del banco, la sucesión de tamaños necesarios para las diversas etapas de pavimentación. Esta reducción debe hacerse en etapas, y sus características y equipo de trituración son los siguientes:

Trituración Primaria:

Greña -----> 10" a 4"	1	Quijadas, IR=8:1
	<	1 Giratorias, IR=8:1

Trituración Secundaria:

10" a 4" ---> 3" a 1"	1	Cono Standard o "S", IR=10:1
	<	Rodillo Doble, IR=3:1
	1	Impactor, IR=30:1

Trituración Terciaria:

3" a 1" ---> 3/4" a 1/4"	1	Cono "FC" o Cabeza Corta, IR=10:1
	<	Rodillo Triple, IR=6:1
	1	Martillos, IR=20:1

Trituración Cuaternaria o Molienda:

3/4" a 1/4" --> menor a 1/4"	1	Cono "VFC" o gyradisc, IR=6:1
	<	Molino de Barras, IR=15:1
	1	Molino de Bolas, IR=30:1

Indice de Reducción.

Es la relación entre el tamaño del fragmento a la entrada del equipo y el tamaño del material triturado a la salida del equipo.

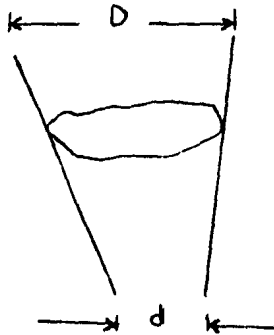


Fig. II.1

$$IR = \frac{D}{d}$$

IR = Índice de reducción.

D = Dimensión o abertura de entrada.

d = Dimensión o abertura de salida.

Coefficiente de forma.

Es la relación entre el volúmen de un fragmento de roca y el volúmen de una esfera hipotética de diámetro igual a la dimensión mayor del fragmento.

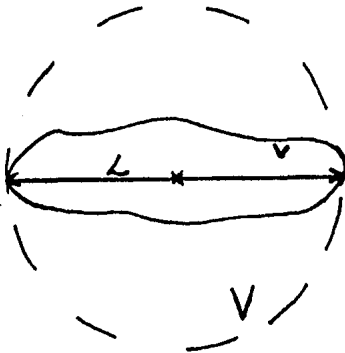


Fig. II.2

$$C = \frac{v}{V}$$

C = Coeficiente de forma

v = Volúmen del fragmento

V = Volúmen de la esfera de $\phi = L$

L = ϕ de la esfera de volúmen V

Una Planta de Trituración consta de las siguientes partes:

1.- Equipo de trituración

2.- Equipo complementario:

- alimentadores
- transportadores de banda
- cribas vibratorias
- motores accesorios.

c) Estabilización.

La estabilización es alterar o cambiar las propiedades del material existente, de tal manera que se obtenga un material que reúna en mejor forma los requisitos impuestos, o cuando menos que la calidad obtenida sea adecuada. Esto se puede hacer con la incorporación de un determinado producto a los materiales utilizados en la construcción de la capa subrasante, la sub-base o la base.

Las propiedades de un suelo que más pueden interesar en la construcción de pavimentos son las siguientes:

- estabilidad volumétrica
- resistencia mecánica
- permeabilidad
- durabilidad
- compresibilidad

Existen tratamientos por medio de los cuales se pueden mejorar varias de estas propiedades en forma simultánea.

Las formas en que se puede hacer la estabilización son las siguientes:

1.- Medios Mecánicos

- compactación
- precargas
- drenaje
- vibroflotación

2.- Medios Físicos:

- temperatura (aumentandola o disminuyendola)
- electricidad

3.- Químicos:

- Geotextiles

Cuando por razones de índole económica se requiere emplear, en bases de pavimentos, materiales de la localidad que por si solos no reúnan características físicas satisfactorias para estos fines, se recurre a tratar dichos materiales, adicionandoles algún producto elaborado para modificar sus propiedades originales, haciendo que alcancen los valores establecidos respecto a las normas vigentes.

La estabilización puede ser a base de productos asfálticos, cemento Portland, mezclas de cemento Portland y puzolana, cal hidratada, mezclas de cal hidratada y puzolana, y mezclas de cal hidratada y cemento Portland.

Aunque las bases asfálticas resultan en general más caras que las bases estabilizadas con cemento hidráulico, cal hidratada o puzolanas, su empleo se ha difundido mucho en nuestro país, debido a las ventajas que presenta con respecto a los demás. La función del asfalto en este caso, estriba fundamentalmente en aglomerar las partículas del suelo, proporcionando a éste suficiente cohesión y resistencia una vez compactado. La condición primordial para su buen funcionamiento, es que quede uniformemente distribuido y de lugar a la formación de una película que cubra y se adhiera firmemente a las partículas del suelo.

d) Compactación.

En la Mecánica de Suelos, la reducción de vacíos de un suelo recibe diferentes nombres: Consolidación, Densificación, Compactación, etc., aunque exista diferencia entre lo que es consolidación y lo que es compactación. La primera se refiere a la reducción de vacíos, relativamente lenta, debida a la aplicación de una carga estática; la segunda se refiere a una reducción de vacíos, más o menos rápida, producida por medios mecánicos durante el proceso de construcción. Al haber una reducción de vacíos en el suelo, hay un incremento en el peso volumétrico del material y entonces se puede dar la siguiente definición.

Compactación: Es el aumento artificial, por medios mecánicos, del peso volumétrico de un suelo; esto se logra a costa de la reducción de los vacíos del mismo, al conseguir un mejor acomodo de las partículas que las forman, mediante la expulsión de aire y/o agua del material.

La compactación mejora las características de un suelo en lo referente a:

- a).- Resistencia Mecánica
- b).- Resistencia a los asentamiento bajo cargas futuras
- c).- Impermeabilidad

Los factores más importantes que deben tomarse en cuenta para la selección del equipo de compactación, en cuanto a su función son:

- tipo de material
- tamaño de la obra
- requerimientos especiales

El tipo de material que se usa frecuentemente es el siguiente:

Sub-bases, bases y carpetas: siempre materiales no cohesivos (arenas y gravas)

Terracerías: a veces no cohesivos

Los esfuerzos mecánicos que se emplean en la compactación, según el tipo de suelo que se tenga, pueden ser la combinación de uno o más de los siguientes efectos:

	Gruesos (Friccionantes)	Finos (Cohesivos)
Presión Estática	X	X
Impacto		X
Amasamiento		X
Vibración	X	X

El equipo de compactación más usual, con los efectos que produce, es el siguiente:

Plancha - presión estática
 Rodillos Pata de Cabra - amasamiento
 Rodillo de Reja - impacto
 Rodillo de Impacto - impacto y amasamiento
 Rodillo Vibratorio - vibración
 Rodillos Metálicos - presión estática
 Rodillos Neumáticos - presión estática

En el caso de pavimentos, se puede resumir el equipo generalmente usado según el material y tipo de trabajo que se esté realizando, de la siguiente manera:

1.- Rodillos Metálicos y Neumáticos:

Se usa en carpetas, bases, sub-bases y acabados de terracerías; se pueden usar en Terraplenes.

2.- Rodillos de Impacto:

Pueden compactar casi todos los suelos.

3.- Rodillos Vibratorios:

En materiales granulares.

El grado de compactación es afectado por:

- El contenido de humedad en el material.
- La naturaleza del material, esto es, sus propiedades físicas, granulometría, etc.
- El tipo e intensidad de la fuerza compactiva

La granulometría es un factor importante para obtener una eficiente compactación. Para esto es necesario que haya partículas de varios tamaños en el material por compactar, ya que las partículas de menor tamaño ocuparán los espacios formados entre las partículas de mayor tamaño, por lo que es importante considerar el Coeficiente de Uniformidad de Lars Forssblad (Cu), que es igual a:

$$Cu = \frac{D60}{D10}$$

Donde:

D60 = Tamaño de la malla por el que pasa el 60% del material.

D10 = Tamaño de la malla por el que pasa el 10% del material.

Si el $Cu > 7$, se tiene excelente suelo (bien graduado) para compactar. Con amplio margen de tamaños de partículas y cantidades apreciables de cada tamaño intermedio.

Si el $7 > Cu > 3$, se tienen suelos, que presentan ciertos problemas para la compactación, los que podemos eliminar mejorando la granulometría y así obtener buenos resultados.

Si el $Cu < 3$, se tiene un pésimo suelo (mal graduado) para compactar.

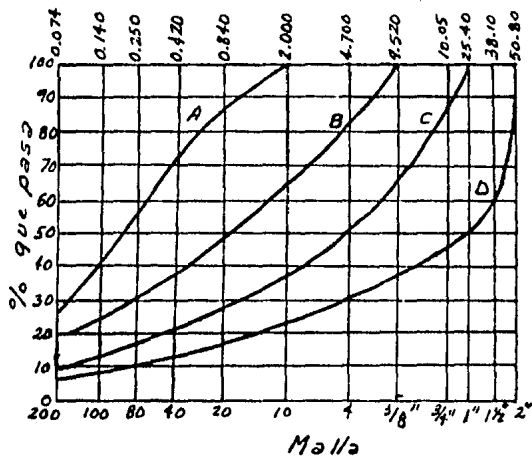
Para obtener el Cu , se debe tomar de la gráfica de composición granulométrica (obtenida en el laboratorio) el D60 y el D10.

Ejemplo:

En la gráfica II.1 se puede observar en la curva D, que el D60 corresponde al material que pasa por la malla de 1 1/2", tamaño igual a 19.05 mm y el D10 corresponde al material que pasa por la malla 80, tamaño igual a 0.250 mm. Si calculamos el Coeficiente de uniformidad tenemos que:

$$Cu = \frac{D60}{D10} = \frac{19.05 \text{ mm}}{0.250 \text{ mm}} = 76.2$$

Lo cual nos indica que es un excelente suelo para compactar, que tiene una amplia gama de tamaños.



Gráfica II.1 COMPOSICION GRANULOMETRICA.

El costo de compactación representa una muy pequeña parte del costo total de la obra. En cambio tiene una decisiva influencia en la calidad y tiempo de vida de la obra.

Una compactación eficiente incrementa sustancialmente el valor relativo soporte y la estabilidad del material, mejora la impermeabilidad y disminuye los asentamientos. Así, la compactación hace al suelo capaz de soportar las cargas de los vehículos y reduce sustancialmente los costos de mantenimiento.

La compactación de sub-base y base ha tenido una evolución muy importante con la introducción de compactadores vibratorios autopropulsados.

El compactador neumático se utiliza no por falta de capacidad de producción del compactador vibratorio, sino porque este último no puede orillarse lo suficientemente para compactar los hombros del pavimento.

Desde tiempos antiguos se ha reconocido la conveniencia de compactar los Terraplenes de los caminos. Uno de los métodos primitivos era el de arrastrar con caballos, aplanadoras pesadas de madera.

En los últimos 15 años ha habido un gran progreso en la ciencia de la compactación de los suelos. Los estudios de laboratorio han resuelto muchos problemas del comportamiento del suelo, y los fabricantes han diseñado una amplia variedad de equipo para producir el máximo de compactación con el máximo de economía.

CONTROL DE COMPACTACION.

Para tener un control de compactación se han desarrollado las siguientes pruebas:

	- Medida Física de peso y volumen
Campo	- Mediciones nucleares
	- Otros
Pruebas	
	- Proctor
Laboratorio	- Proctor Modificada
	- Porter

Las pruebas de laboratorio, antes mencionadas, son muy usadas en la actualidad, y se realizan de la siguiente manera:

a) Proctor:

- 1.- Se toma una muestra representativa del suelo a compactar, de humedad conocida.
- 2.- Se toma un cilindro de 4" de diámetro x 4 1/2" de altura, se llena en tres capas aproximadamente iguales con el material de la prueba.
- 3.- Cada capa se compacta con 25 golpes de un martillo de 2.5 kg, una área de contacto de 20 cm² que se deja caer de una altura de 30.5 cm (1"), con el objeto de dar siempre al material la misma energía de compactación.

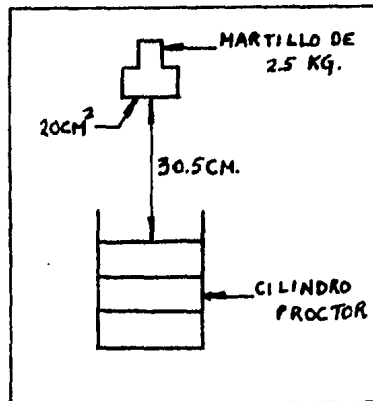
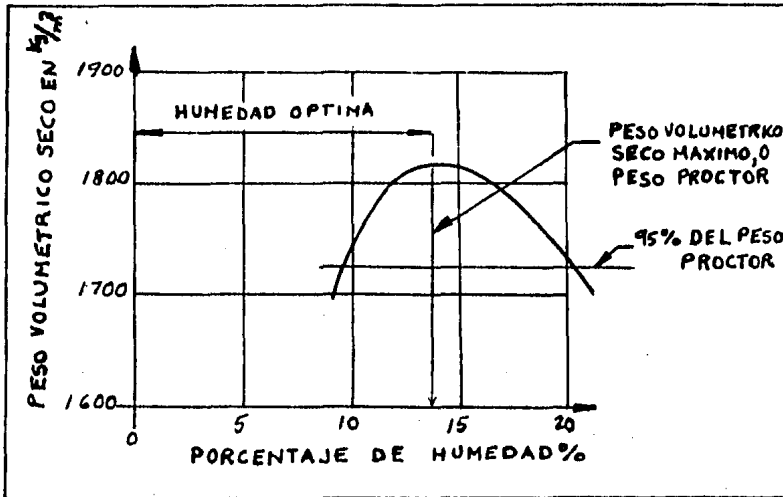


Figura II.3

- 4.- Se pesa el material y como el volumen es conocido se calcula el peso volumétrico húmedo. La humedad también es conocida y entonces se resta el peso del agua y se obtiene el peso volumétrico seco para esa humedad.

- 5.- Se repite la prueba varias veces, variando cada vez el grado de humedad, con lo que se obtienen pares de valores Humedad-Peso Volumétrico Seco. Con estos pares de valores se dibuja la siguiente gráfica:



Gráfica II.2

En la gráfica II.2 puede observarse que existe un cierto contenido de humedad para el cual el peso volumétrico es máximo, este se conoce como "Peso Volumétrico Seco Máximo (P.V.S.M.), o peso proctor, y del contenido de humedad como "Humedad Óptima".

Y así, en el proyecto se especifica el porcentaje del Peso Proctor que debe obtenerse en la construcción del Terraplén y la humedad óptima.

Por Ejemplo: Si se especifica 95% Proctor, en el caso de esta gráfica, tenemos: P.V.S.M. = 1820 Kg/m³

Entonces: 95% de P.V.S.M. = $0.95 \times 1820 = 1729 \text{ Kg/m}^3$

Esto quiere decir que el constructor debe obtener un peso volumétrico seco mínimo de 1729 kg/m³ en ese material.

El hecho de que exista un P.V.S.M., quiere decir: que hasta esa humedad, (óptima) es hasta donde aumenta el peso volumétrico, y con esto, se llega a obtener un mejor acomodo de las partículas, con el mismo trabajo de compactación, si

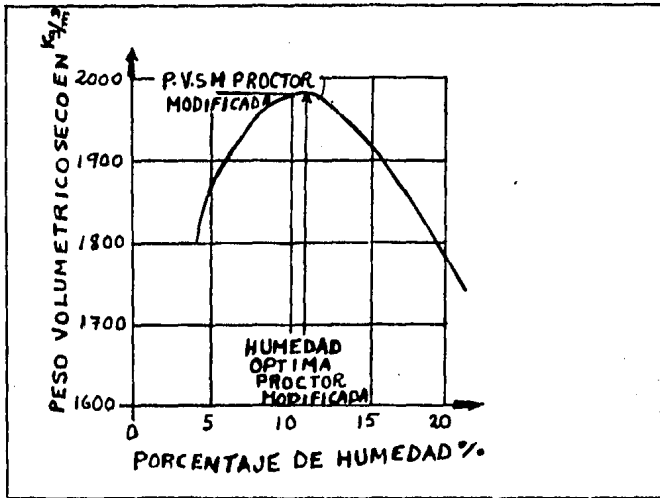
se aumenta más la humedad, entonces comienza a bajar el peso volumétrico, para el mismo trabajo de compactación, lo cual resulta antieconómico.

Conforme fueron aumentando las cargas sobre las terracerías, por el uso de camiones cada vez más pesados, se vió la necesidad de desarrollar mayores densidades y resistencias en muchos materiales usando mayor trabajo de compactación. Por esta razón se desarrolló la prueba Proctor Modificada.

b) Proctor Modificada:

En esta prueba se usa el mismo cilindro, solo que el material se compacta en 5 capas con un martillo de 4.5 Kg y cae de una altura de 46 cm., también dando 25 golpes por capa. Las dos pruebas se realizan de la misma forma solo que el trabajo de compactación se ha incrementado aproximadamente 4.5 veces.

La gráfica siguiente muestra los resultado de la prueba Proctor Modificada, aplicadas al mismo material de la prueba Proctor anterior.



Gráfica II.3

De las dos gráficas anteriores, se puede ver que aunque el trabajo de compactación se incrementó 4.5 veces, la densidad solo

se incrementó 9% y la humedad óptima disminuyó 3%.

Tanto la prueba Proctor como la Proctor Modificada han dado buen resultado en suelos cuyos tamaños máximos son de 10 mm (3/8"); en suelos con partículas mayores el golpe del martillo no resulta uniforme y la prueba puede variar de resultados en un mismo material, es por esto que se ideó la prueba Porter.

c) Porter:

- 1.- Se forma una muestra del material a probar y se seca.
- 2.- Se pasa por la malla de 25 mm (1") y se determina el porcentaje en peso, retenido en la malla. Si este porcentaje es menor del 15%, se usará para la prueba el material que pasó la malla.

Si el porcentaje es mayor del 15% se prepara una muestra del material original, con las siguientes características: una muestra que pase la malla de 1" y que sea retenida en la malla num. 4, de esta muestra se pese un tanto igual al peso retenido, el cual se agrega al material que pasó la malla de 1", con este nuevo material se realiza la prueba.

- 3.- A 4 Kg de la muestra así preparada se le agrega una cantidad conocida de agua y se homogeniza con el material.
- 4.- Con este material se llena, en tres capas, un molde metálico de 6" de diám. por 8" de altura con el fondo perforado. Cada capa se pica 25 veces con una varilla de 5/8" (1.9 cm) de diám. por 30 cm. de longitud con punta de bala. Sobre la última capa se coloca una placa circular ligeramente menor que el diámetro interior del cilindro, y se mete el molde en una prensa de 30 ton.
- 5.- Se aplica la carga gradualmente, de tal forma que en cinco minutos se alcance una presión de 140.6 Kg/cm², la cual debe mantenerse durante un minuto, e inmediatamente se descarga en forma gradual durante un minuto. Si al llegar a la carga máxima no se humedece la base del molde, la humedad ensayada es inferior a la óptima. Así se sigue haciendo por partes hasta que la base del molde se humedezca al alcanzar la carga máxima. La humedad de esta prueba es la humedad óptima y entonces se determina el peso volumétrico seco de la muestra dentro del cilindro, y a ese peso se le conoce como el "Peso Volumétrico Seco Máximo Porter", que será el peso comparativo para el trabajo de campo. Por Ejemplo:

Si en la Prueba Porter obtuvimos un P.V.S.M. = 2000 Kg/m³, y en el diseño se pide el 95% Porter, en la obra tendremos que alcanzar un peso volumétrico seco de: $0.95 \times 2000 = 1900$ Kg/m³.

Para medir en la obra si se ha alcanzado el peso volumétrico de proyecto, el método de control más usual en el campo es el de

"medida física de peso y volumen", y consiste en lo siguiente:

- 1.- Se excava un agujero de 10 a 15 cm de diámetro, o un cuadrado de 15 cm por lado, a la misma profundidad de la capa por probar.
- 2.- El material excavado es cuidadosamente recogido y pesado. Se seca para determinar la humedad y el peso volumétrico seco.
- 3.- El volumen del agujero es medido. El método usado generalmente es llenándolo con una arena de peso volumétrico constante.
- 4.- Conocidos el pesos seco de la muestra y el volumen del agujero, se calcula el peso volumétrico seco de la muestra, que debe ser igual o mayor que el peso volumétrico especificado.

II.3 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.

La Sub-base se construirá cuando esté terminada la Subrasante. El procedimiento en sí, consta de las siguientes partes:

- Transportación.
- Tendido y Afinado
- Compactación.

La Transportación puede hacerse por medio de camiones de volteo. Para agilizar el pago de estos camiones, evitar errores y tener un mejor control, es recomendable calcular los fletes por medio de una computadora y utilizar, en lo posible, básculas de piso.

El Tendido y Afinado puede hacerse usando cualquiera de los siguientes procedimientos:

- a) Utilizando motoconformadora, que, aunque es el más barato, es es más inexacto en cuanto al perfil, las secciones, los espesores y el acabado.
- b) Por medio de una extendidora de carpeta asfáltica (finisher), equipada con control electrónico y dotada de una área de acabado suficiente para extender espesores hasta de 25 cm.
- c) Por medio de una máquina Afinadora Extendidora del tipo CMI, equipada con sistema de control electrónico.

La compactación ha tenido una evolución muy importante con la introducción de compactadores vibratorios autopropulsados.

El compactador neumático se utiliza no por falta de capacidad de producción del compactador vibratorio, sino porque este puede orillarse lo suficiente para compactar los hombros del pavimento.

Para la elaboración de la Sub-base, es recomendable una planta mezcladora. A pesar de lo cual, en México todavía se hace la

mezcla, en la mayoría de los casos, utilizando motoconformadora.

La secuencia para la construcción de la Sub-base es la siguiente:

- 1o.- Cuando se mezclan 2 o más materiales, se mezclan en seco, con el objeto de obtener un material uniforme. Se extiende el material parcialmente y se procede a incorporar agua por medio de riegos y mezclados sucesivos. Esto se hace hasta alcanzar la humedad de proyecto y hasta obtener homogeneidad en la mezcla.
- 2o.- Se extienden capas sucesivas de material y se compacta cada capa hasta alcanzar el grado fijado en el proyecto, así se van poniendo las capas, hasta alcanzar el espesor y sección fijados en el proyecto.
- 3o.- En las tangentes, la compactación se iniciará de las orillas hacia el centro y en las curvas, de la parte interior de ellas hacia la parte exterior.

Para el control de la dosificación y del volumen de material que se utilice, se acamellonará el material o mezcla de materiales y se determinará su volumen y su peso volumétrico en el camellón. Así, determinando los coeficientes de variación volumétrica se puede conocer ésto.

Para dar por terminada la construcción de la Sub-base, se verifica el alineamiento, perfil, sección, compactación, espesor y acabado, de acuerdo con lo fijado en el proyecto.

Capa de material seleccionado, que se construya sobre la sub-base.

III.1 FUNCIONES.

Desde el punto de vista estructural, su función es similar a la de la sub-base y consiste en proporcionar un elemento resistente que transmita a las capas inferiores, en una intensidad apropiada, los esfuerzos producidos por el tránsito. También, en muchos casos, debe drenar el agua que se introduzca a través de la carpeta o por los acotamientos del pavimento; por lo tanto deberá ser una capa permeable.

III.2 MATERIALES.

Los materiales que se emplean, en general son los mismos que para sub-bases, solo que sus especificaciones son mas estrictas, ya que la Base necesita materiales de mejor calidad que la Sub-base, por estar debajo de la superficie de rodamiento y por lo mismo está sujeta a cargas muy elevadas.

En la Base deben emplearse materiales poco deformables, es decir, materiales granulares, de preferencia gruesos y con un bajo contenido de partículas finas de plasticidad baja.

En lugares de alta precipitación pluvial, deben emplearse materiales permeables, para así facilitar la evacuación rápida de agua de lluvia que logra infiltrarse a través de la carpeta.

Los materiales que más se usan, al igual que en sub-bases, son las gravas-arenas de los ríos. También se utilizan las rocas procedentes de mantos, depósitos, pepenas, etc.

En México, la Bases y las sub-bases se construyen, en general, con un material granular (grava) mezclado con:

- Cementante natural y agua
- Cemento y agua
- Cal y agua
- Emulsión asfáltica o asfalto rebajado, o bien se construyen de arena mezclada con emulsión asfáltica.

Las más usuales son las construidas con un material granular (grava), mezclada con un cementante natural y agua, y las construidas con arena y emulsión asfáltica (más adelante diremos lo que es una emulsión asfáltica).

Los requerimientos que deben tener los materiales para base son: la estabilidad, resistencia a la abrasión y la resistencia a la penetración del agua.

Diseño de Pavimentos Flexibles.

El diseño comprende, básicamente, la medición de la resistencia y otras importantes propiedades del pavimento. Comprende fijar los espesores respectivos, infraestructura (si es que existe) y otros materiales aportados que deben cubrir el suelo natural. El problema es cuál de estas combinaciones es la menos costosa a la larga.

Los métodos de uso común son, o total o parcialmente empíricos, y están basados principalmente sobre observaciones de éxitos y fracasos pasados, suplementados a veces por pruebas a caminos experimentales. El espesor de las capas se encuentra, substituyendo estos resultados de las pruebas en fórmulas o gráficas.

Las incertidumbres inherentes al diseño de pavimentos están bien demostradas por el hecho de que, en 1959, unos 30 métodos para diseño de pavimentos estaban en uso en los Estados Unidos, con un 50% de variación en los resultados, bajo condiciones idénticas supuestas.

Los métodos de diseño de pavimentos flexibles, generalmente se fundamentan en el conjunto de pruebas de laboratorio, y el diseño consiste en hacer una correlación entre dichas pruebas y el comportamiento de pavimentos ya construidos.

Las pruebas de laboratorio se hacen con el fin de medir la resistencia del suelo, la cual está relacionada con el valor relativo soporte (V.R.S). Esta característica no es constante de un suelo, sino circunstancial, ya que depende de la textura del suelo, del contenido de agua y de la condición de compactación.

El V.R.S es el término en español que se ha aceptado para el C.B.R (California Bearing Ratio). El C.B.R es la resistencia en %, que un suelo opone a la penetración de una aguja con sección transversal de 19.35 cm², con respecto a la resistencia que opone un material considerado estándar (caliza triturada). Las resistencias que generalmente se relacionan son la correspondientes a la penetración corregida de 2.54 mm.

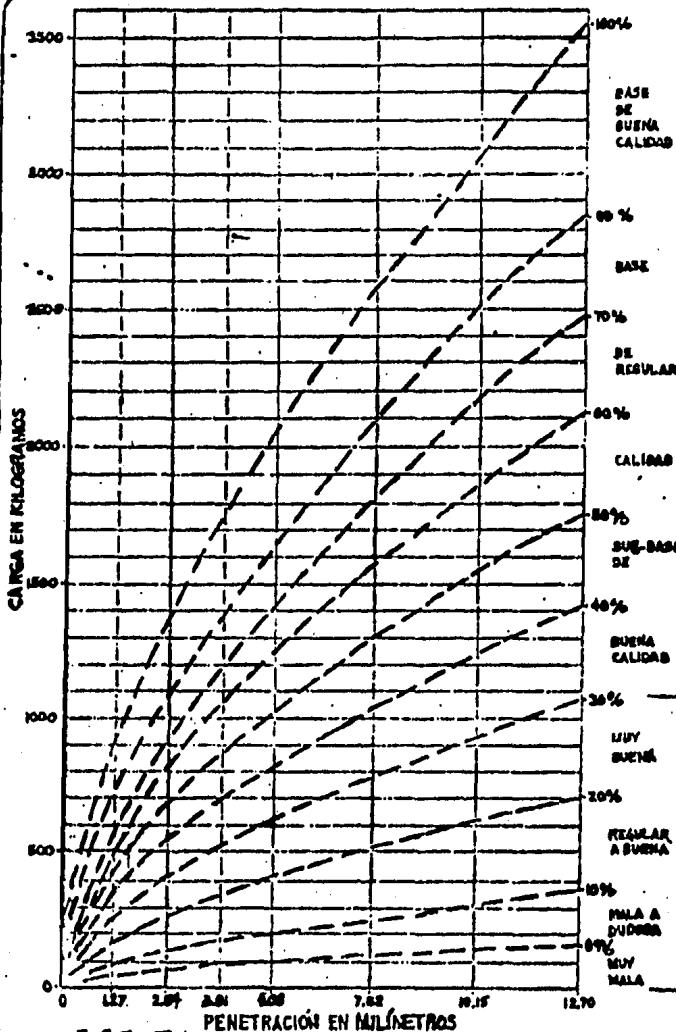
La prueba V.R.S puede contemplarse como un cierto tipo de prueba esfuerzo-deformación y puede servir para clasificar al material de acuerdo al uso que se pueda dar en la construcción de pavimentos.

En la fig.III.1 se muestra el resultado de una prueba de laboratorio.

SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS
 DIRECCIÓN GENERAL DE SERVICIOS TÉCNICOS
 DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA
 OFICINA DE PRUEBAS FÍSICAS

ESTUDIO: ENSAYE: 33
 OBRA: LOCALIZACIÓN:
 SONDEO N°: MUESTRA N°:
 PROFUNDIDAD: FECHA: 27/04/83
 OPERO: CALCULO:

PRUEBA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE



PORTER SATURADA
 P. SECO 5000
 P. HUMEDO 4700
 AGUA AGREGADA 450
 ALTURA MOLDE 17.8
 ALTURA FALTANTE _____
 ALTURA DEL MAT. _____
 AREA 181.5
 VOLUMEN _____
 P. V. H. _____
 P. V. S. _____
 H. O. _____
 % EXP. _____
 % V.R.S. _____

PROFUNDIDAD (mm)	CARGA (kg)
1.27	150
2.54	462
3.81	760
5.08	1000
7.62	1390
10.16	1700
12.70	1970

385.3
321.3 | 56.0

FIG. III.1

MOLDE No 17
 EXTENSION No _____
 LECTURA I. 2.40
 LECTURA F. 1.780
 DIFERENCIA: _____

a) Método de Hveen.

Este método se basa en las llamadas Pruebas de Hveen y es de requerimiento múltiple, ya que exige que el pavimento cumpla condiciones en relación a: presión de expansión, presión de exudación; valor de estabilidad, obtenido en estabilómetro y a resistencia a la tensión por flexión, medida en las capas superiores del pavimento por medio del cohesiómetro.

Las pruebas se realizan en el siguiente orden:

- 1o. Compactación.
- 2o. Presión de exudación.
- 3o. Presión de expansión.
- 4o. Valor de estabilidad.

Y en la siguiente forma:

Para la preparación y compactación de los especímenes por probar, Hveen desarrolla el compactador mecánico por amasado y el método es el siguiente: Primero se prepara el espécimen y se le agrega agua; enseguida se coloca en el compactador, cuya área es de 3 plg², ajustando la presión de aire a 1 kg/cm²; se le aplican 100 golpes, usando una presión calibrada de manera que se tenga en el pistón una presión de 24 kg/cm². Si antes de 100 golpes aparece agua libre alrededor de la base del molde, se para el compactado de la muestra y se anota el número de golpes aplicado. Esto se hace para que al repetir la muestra se le agregue menos agua, para que esto no vuelva a ocurrir. Una vez compactado el espécimen, se determina la presión de exudación en un aparato que mide la humedad del espécimen. La presión de exudación es la que se tiene cuando el espécimen expulsa agua.

Una vez colocado el espécimen en el aparato, se le aplica una carga que se incrementa a una velocidad de 910 kg/min (2000 lb/min). Este aparato tiene seis focos que están conectados por dos alambres a la parte superior de la muestra; cuando el agua aflora, se establece el contacto entre las terminales de los alambres a través del agua, encendiéndose los focos. La presión de exudación se obtiene cuando se prenden cinco de las luces. Si aparece agua libre alrededor de la base del molde y se prenden tres luces, cuando menos, se registra la carga en ese momento y se calcula la presión de exudación.

Tomando en cuenta los resultados obtenidos en el espécimen anterior, se preparan otros tres más, con diferentes contenidos de agua, teniendo como rango, presiones de exudación entre 7 y 56 kg/cm². Estos especímenes se someterán después a la prueba de expansión y del estabilómetro.

La prueba de expansión mide la presión que desarrolla un espécimen de suelo al que se le permite absorber agua libre. Esta prueba se realiza de la siguiente manera:

Se coloca la muestra dentro del aparato de presión de expansión; se le dan vueltas a una placa giratoria, hasta que se genere en el espécimen una deformación por sobrecarga de 0.002 cm (0.001"). Se ponen aproximadamente 200 cm.3 de agua sobre el espécimen y se deja durante 16 hr para que se desarrolle la presión de expansión. Al final se lee en un extensómetro la deformación de la barra, con una aproximación de 0.00025 cm (0.0001") y se determina la presión de expansión con la siguiente expresión:

$$P_e = kd$$

Donde:

P_e = Presión de expansión (kg/cm²).

k = Constante de calibración de la barra de acero (kg/cm² por 0.00025 cm).

d = Deformación en 0.00025 cm (0.0001").

Estabilómetro de Hveem.

Este aparato permite realizar una prueba que mide el comportamiento mecánico de los materiales bajo combinaciones de esfuerzos en niveles inferiores a los de la falla.

El estabilómetro es básicamente una cámara triaxial y esta formado por un cilindro metálico dentro del cual hay una membrana de hule; entre estos dos queda un espacio anular que se llena de aceite para transmitir la presión lateral sobre el espécimen.

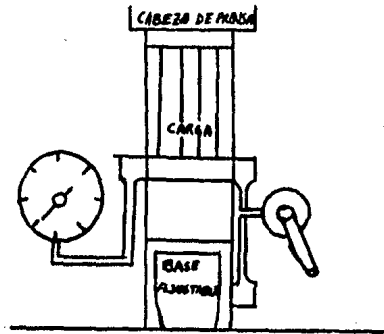


Fig.III.2 ESTABILOMETRO DE HVEEN.

Al aplicar carga vertical al espécimen, se transmite una presión horizontal al aceite, que puede leerse en el manómetro. Las presiones verticales que se aplican son de 5.6 y 11.2 kg/cm² (80 y 160 lb/plg²).

Los resultados de la prueba hecha en el estabilómetro de Hveen, se interpretan a través de un valor, llamado de estabilidad propuesto por Hveen según la fórmula:

$$R = 100 - 100 \frac{25}{D} \left[\left(\frac{P_v}{P_h} \right) - 1 \right] + 1$$

En donde:

- R = Número de estabilidad de Hveen, sin dimensiones.
- P_v = Presión vertical aplicada.
- P_h = Presión horizontal en las paredes del espécimen, medida en el manómetro.
- D = Desplazamiento horizontal del espécimen, correspondiente a una presión horizontal de 7 kg/cm² (1\plg²).

Para encontrar más fácilmente este valor se puede utilizar el nomograma de la fig. III.3

Otra prueba que sirve para aplicar el Método de Hveen al proyecto de espesores de pavimentos flexibles es el del Valor del Cohesímetro, que mide la resistencia a la tensión por flexión de un espécimen de suelo; se supone que dicho valor está relacionado con la resistencia al esfuerzo cortante que desarrolle el espécimen bajo un confinamiento representativo del que se tendrá en el pavimento. Esta prueba se aplica, sobre todo, a los materiales que formarán las capas superiores de la estructura.

El espesor relacionado con la presión de expansión de la subrasante, obtenida en el laboratorio, se calcula de la siguiente manera:

$$E_e = P_e / j^m$$

Donde:

E_e = Espesor requerido para neutralizar la presión expansión en la subrasante por el peso de las capas superiores del pavimento, en cm.

P_e = Presión de expansión, en kg/cm^3 .

j^m = peso volumétrico medio de la estructura del pavimento en kg/cm^3 .

Este valor se puede obtener de la fig.III.4.

Para este método se prevé la formación de tres especímenes, por lo menos, fabricados con tres humedades diferentes, de manera que se tengan tres espesores. El método exige que no se diseñe por estabilidad, con un R mayor que el que corresponde a una presión de exudación de 21 kg/cm^2 (300 lb/ptg^2).

Con relación al valor de estabilidad obtenido en el estabilómetro, el espesor correspondiente se calcula con la siguiente fórmula:

$$E_r = 0.098 \times IT (100 - R)$$

Donde:

E_r = Espesor del pavimento necesario de acuerdo con la resistencia del suelo, según la prueba del estabilómetro, en cm.

IT = Índice de tránsito (calculado con la fórmula mencionada en el "Criterio de Carga Equivalente", descrito en la Introducción).

R = Número de estabilidad de Hveen, calculado con la fórmula que se menciona al describir dicha prueba.

NOMOGRAMA PARA DETERMINAR EL VALOR DE "R" BASADOS EN LOS VALORES DEL ESTABILOMETRO

$$"R" = 100 - \frac{100}{\frac{2.5}{D} \left(\frac{P}{P_0} \right) + 1}$$

donde $P_0 = 11.25 \text{ Kg/cm}^2 (160 \text{ lb/in}^2)$

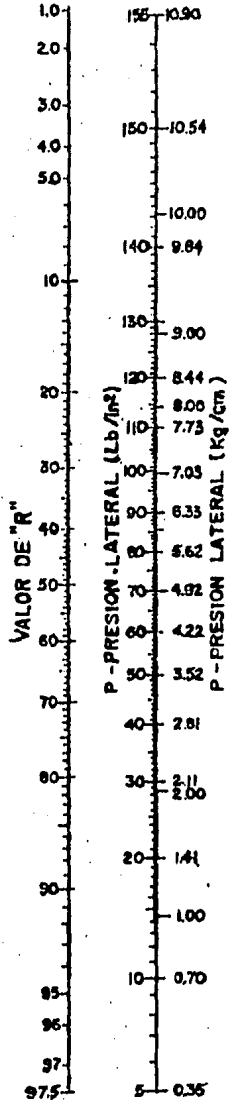
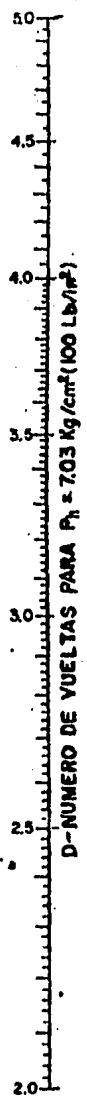


FIGURA VIII.3

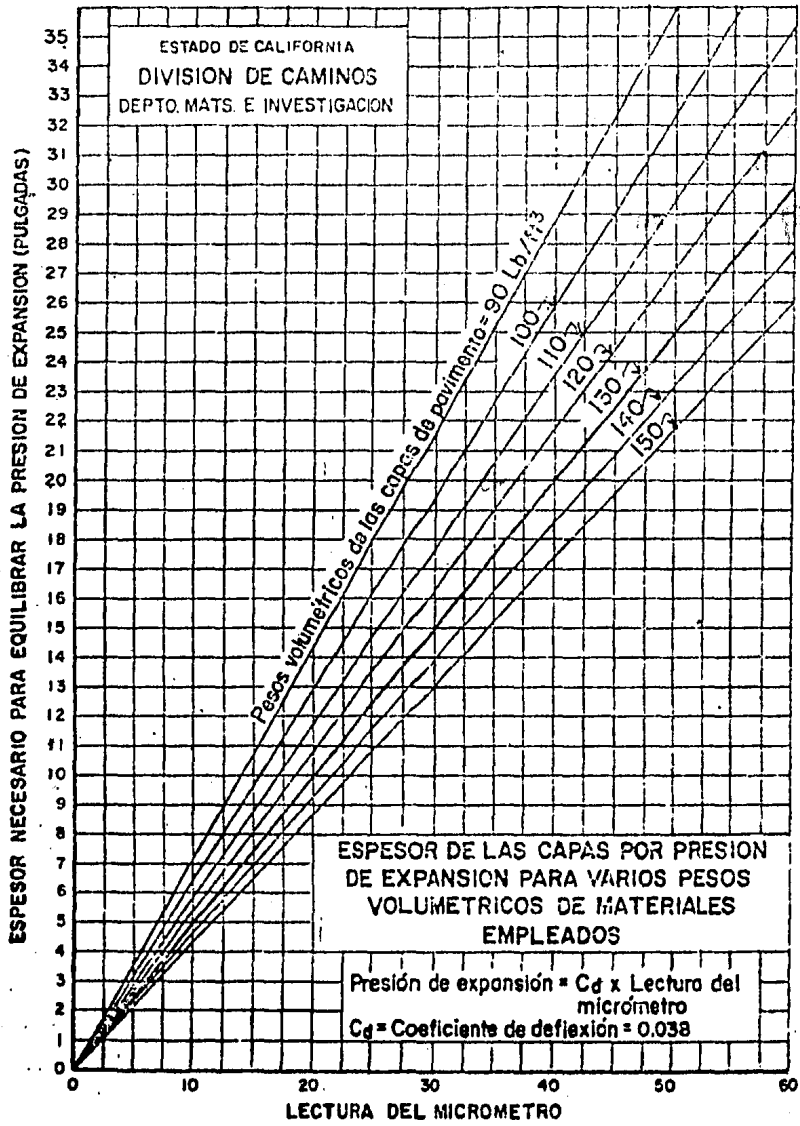


FIGURA VIII.4

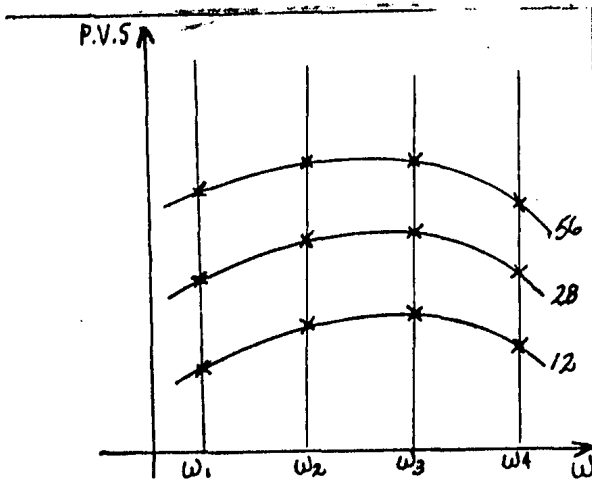
Con los valores obtenidos de las pruebas de laboratorio y con las fórmulas anteriores se dibujan las gráficas de la fig. III.5

Se compara, entonces, el espesor de equilibrio, obtenido de la parte izquierda de la figura III.5 con el obtenido de la parte derecha. El mayor es el que recomienda el método.

b) Método del Cuerpo de Ingenieros.

Para el diseño se utiliza la prueba de laboratorio creada por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos. Esta prueba no es muy utilizada en nuestro país, debido al excesivo número de especímenes que tienen que probarse, lo cual toma mucho tiempo y requiere de un gran esfuerzo en cuanto al trabajo que se realiza en el laboratorio.

La prueba consiste en probar cuatro especímenes a la compactación, (de acuerdo a la pruebas ya descritas) con la especificación de darle 56 golpes/capa; en la misma forma se prueban otros cuatro especímenes, ahora dándoles 28 golpes por capa; y otros cuatro, dándoles 12 golpes/capa. De los resultados de estas pruebas, se obtienen tres curvas, en una gráfica de humedades- peso volumétrico seco. La gráfica que se obtiene es la siguiente:



Graf. III.1

Después se obtiene el valor relativo soporte de cada espécimen y con esto se tiene otra gráfica, que es la de humedades-valor relativo

PRUEBA N°

ESPECIMEN	A	L	C	D	E	F	G	P	FINES	GRUPOS
FECHA DE PRUEBA	3-22	3-22	3-22						RECIBIDA	
PRUEBA EN EL COMPACTADOR	21	21	21						*TRITURADA	
HUMEDAD INICIAL %	7.5	7.5	7.5						LL LP LP	
AGUA AÑADIDA	120	120	120						% EOC	MAX
AGUA AGREGADA %	13.4	14.3	17.0						RECIBIDO	11
HUMEDAD DE COMPACTACION %	20.9	21.6	24.5						TITURADO	
PESO DEL ESPECIMEN g	1009	1013	996						COMBINADO	
ALTURA DEL ESPECIMEN	2.68	2.50	2.54							
DENSIDAD	102	101	95							
FM DEL ESTABILIMETRO	29	26	60							
	66	82	133							
DESPLAZAMIENTO	300	315	320						SUB-BASE 4" AS	
VALOR R	53	43	14						BASE 8" C.T.B. Class "A"	
PRESION DE EXTRUSION	600	450	170						CARPETA 4" AC	
ESPESOR POR ESTABILIDAD	8.6	10.9	17.5						VALOR DE COHESION 620	
PRESION DE EXPANSION	33	13	0						INDICE DE TRANSITO 8.7	
ESPESOR POR PRESION DE EXP	15.5	6.5	0						POR PRESION DE EXTRUSION 29	
									POR PRESION DE EXPANSION 48	
									EN EQUILIBRIO 29	
									ESPESOR DE LA CAPA PARA EQUILIBRIO EN EQUILIBRIO 14.0"	

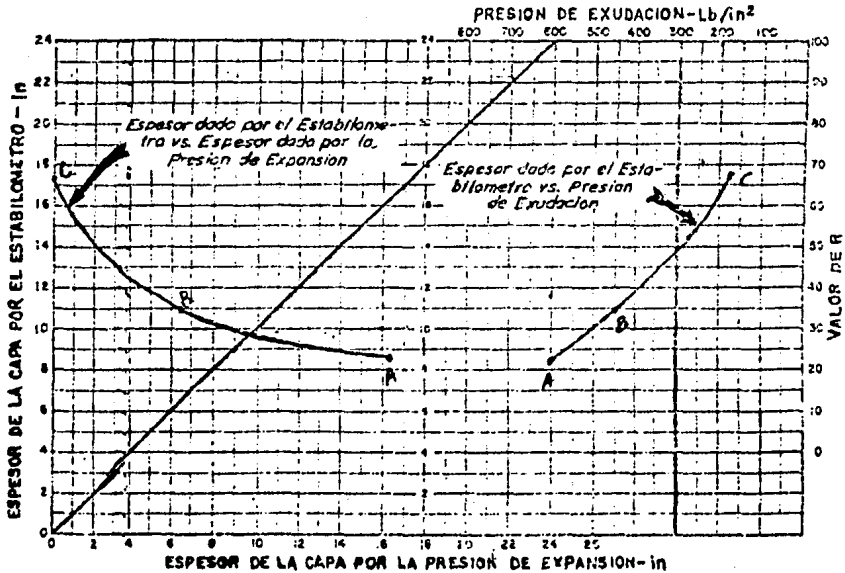
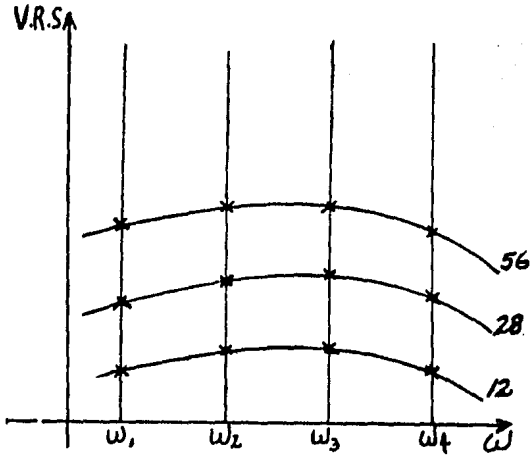


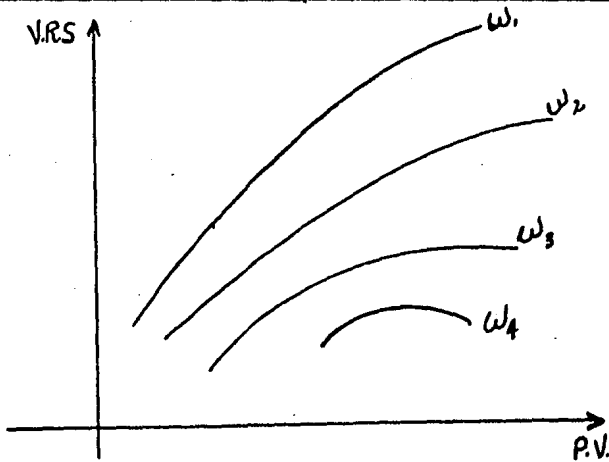
FIGURA 3.5

soporte. Y la gráfica es la siguiente:



Graf. III.2

Finalmente se tiene una gráfica de peso volumétrico-valor relativo soporte, para diferentes humedades, obteniéndose así la siguiente gráfica:



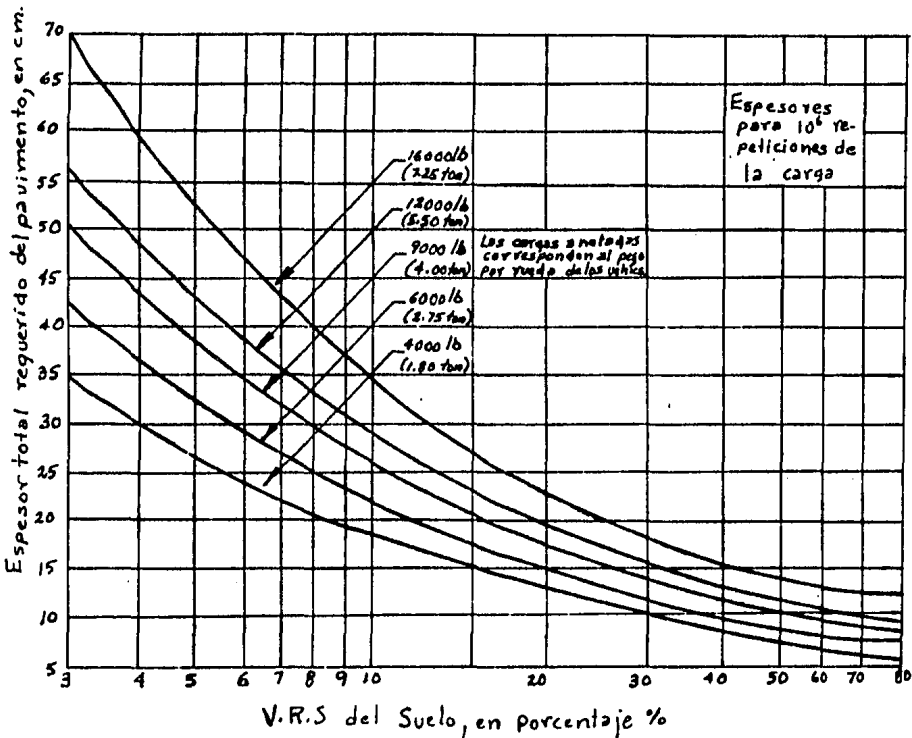
Graf. III.3

De esa manera se obtiene el valor relativo soporte de diseño, que es con el que se diseña el pavimento. Este valor es menor o igual al obtenido en el 80% de las pruebas y mayor al obtenido en el 20% restante, es decir, que en una serie de pruebas:

$$20\% < \text{V.R.S diseño} < 80\% \text{ , de las pruebas.}$$

En la fig. III.6 se ven los resultados de una prueba de laboratorio.

El espesor del pavimento puede obtenerse de las gráficas proporcionadas también por el Cuerpo de Ingenieros, y son las siguientes:



Graf. III.4 ESPESORES DEL PAVIMENTO EN FUNCION DEL V.R.S DE LOS SUELOS, SEGUN EL CUERPO DE INGS. DE LOS E.U.A.

SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE SERVICIOS TÉCNICOS
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA
OFICINA DE PRUEBAS FÍSICAS

ESTUDIO: _____ ENSAYE: _____
OBRA: _____ LOCALIZACIÓN: _____
SONDEO N°: _____ MUESTRA N°: _____
PROFUNDIDAD: _____ FECHA: _____
OPERO: _____ CALCULO: _____

FIG. III.6 PRUEBA DEL CUERPO DE INGENIEROS

No. GOLPES/CAPA: _____ PESO DEL PISÓN (Kg) _____ VOLUMEN (cm ³) _____					
MOLDE No. _____					
PESO MOLDE + SUELO HÚMEDO (gr)					
PESO MOLDE (gr)					
PESO SUELO HÚMEDO (gr)					
PESO ESPECÍFICO HÚMEDO (Kg/m ³)					
PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (gr)					
PESO CÁPSULA + SUELO SECO (gr)					
PESO DEL AGUA (gr)					
PESO CÁPSULA (gr)					
PESO SUELO SECO (gr)					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)					
PESO ESPECÍFICO SECO (Kg/m ³)					
PENETRACION SIN SATURAR	CARGA	CARGA	CARGA	CARGA	CARGA
	ANILLO Kg	ANILLO Kg	ANILLO Kg	ANILLO Kg	ANILLO Kg
1.27 mm (0.05")					
2.54 mm (0.10")					
3.81 mm (0.15")					
5.08 mm (0.20")					
7.62 mm (0.30")					
10.16 mm (0.40")					
12.70 mm (0.50")					
V.R.S. CORREGIDO SIN SATURAR					
PENETRACIÓN SATURADA	CARGA	CARGA	CARGA	CARGA	CARGA
	ANILLO Kg	ANILLO Kg	ANILLO Kg	ANILLO Kg	ANILLO Kg
1.27 mm (0.05")					
2.54 mm (0.10")					
3.81 mm (0.15")					
5.08 mm (0.20")					
7.62 mm (0.30")					
10.16 mm (0.40")					
12.70 mm (0.50")					
V.R.S. CORREGIDO SATURADO					
EXPANSIÓN					
LECTURA FINAL (mm)					
LECTURA INICIAL (mm)					
DIFERENCIA (mm)					
ALTURA DE LA MUESTRA (mm)					
% DE EXPANSIÓN					
ABSORCIÓN					
PESO HÚMEDO (Wm) (gr)					
PESO SECO (Ws) (gr)					
AGUA ABSORBIDA (Wm - Ws = Ww) (gr)					
% ABSORCION $\frac{W_w}{W_s} \times 100$					

Estas gráficas proporcionan los espesores para diferentes valores de V.R.S y distintas cargas de rueda de los vehículos, seleccionados con el "Criterio de Carga Equivalente", ya descrito. Esto se hace para tomar en cuenta el número de vehículos del tipo estándar que pasen durante la vida útil de la obra.

En este método se deben utilizar las gráficas en combinación con el criterio de McLeod, el cual dice que el espesor del pavimento varia linealmente con el número de repeticiones de la carga, cuando éste se expresa en escala logarítmica. Así se construye, con la gráfica III.4 y con el V.R.S del suelo en estudio (en este caso se supone de 8X), la siguiente gráfica:

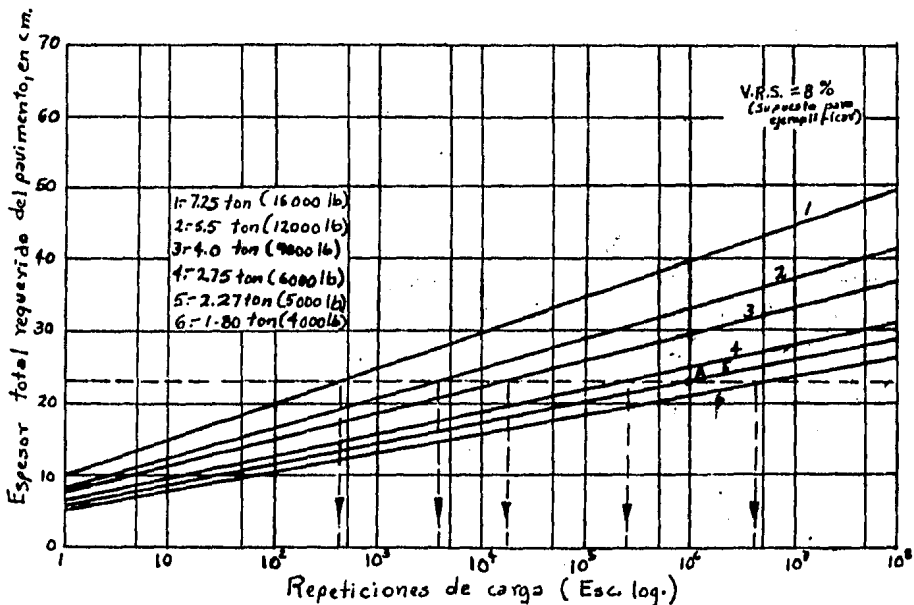


Fig. III.5 METODO PARA HOMOGENEIZAR EL TRANSITO EN LA APLICACION DEL METODO V. R. S. A CARRETERAS, SEGUN EL CUERPO DE INGS. DEL EJERCITO DE LOS E.U.A.

Cada una de las rectas que aparece en la gráfica anterior, representa la variación del espesor requerido del pavimento con el número de repeticiones para la carga que se menciona.

Para obtener el espesor del pavimento, se fija el punto que representa la condición de diseño (punto A en la fig. anterior), que corresponde a un millón de repeticiones de la carga de 2.27

ton(5000 lb). En el punto A se traza una horizontal que irá cortando a las rectas de las distintas cargas en diferentes puntos. Al reflejar estos puntos en las abscisas se obtiene el número de repeticiones de la carga señalada que equivale a un millón de repeticiones de la carga equivalente de 2.27 ton (5000 lb).

Después se divide un millón entre el número de repeticiones de cada una de las cargas de las rectas de la gráfica anterior que produzcan los mismos efectos que la condición de diseño; en esa forma se obtienen los factores de equivalencia para las diversas cargas, estos factores se multiplican (cada uno), por el número de vehículos de ese tipo que vayan a transitar diariamente por el pavimento (tránsito diario promedio anual, T.D.P.A). Los resultados de estos productos se suman y esto da el número diario de repeticiones de carga de la rueda de 2.27 ton, que equivalen, según Mc.Leod, al tránsito esperado sobre el pavimento, en cuanto a sus efectos destructivos. Este cálculo debe extenderse a una vida útil, considerando también una tasa de crecimiento del tránsito dentro de ese período. De esa forma se obtiene el total de repeticiones de la carga equivalente, durante la vida útil, el cual se lleva al eje de las abscisas de la figura anterior, para así leer en la ordenada correspondiente a la recta de la carga equivalente, el espesor que debe considerarse de proyecto.

c) Método de la Porter Modificada.

Se basa, como su nombre lo indica, en la prueba Porter Modificada. Esta prueba se realiza como la estándar, solo que en ésta el espécimen ya no se satura, sino que el grado de humedad debe ser cercano a las condiciones, que se consideren más desfavorables que pueda alcanzar el material para una compactación dada. La prueba se lleva a cabo en especímenes que se compactan a diferentes pesos volumétricos y a diferentes humedades, dependiendo del lugar donde se construya el pavimento. Las variaciones que se tienen son la siguientes:

1.- Suelos que van a ser compactados o removidos.

- a) Localizados en una zona de precipitación baja o media y drenaje correcto: Se hace la prueba a diversas compactaciones y manteniendo constante la humedad, que es la humedad óptima.
- b) Localizados en una región de precipitación media y mal drenada o de precipitación alta: Se hace la prueba a diversas compactaciones, aumentando la humedad, de la óptima a esta más tres.

GRADO DE COMPACTACION %	a) BUEN DRENAJE Y PRECIPITACION BAJA A MEDIA	b) DRENAJE DEFICIENTE Y PRECIPITACION MEDIA O BIEN PRECIPITACION ALTA
100	Wo	Wo
95	Wo	Wo + 1.5
90 - 75	Wo	Wo + 3.0

Tabla III.1

c) Suelos cuya humedad natural sea cercana a la óptima y no se produzcan cambios apreciables de humedad: Se realiza la prueba a humedad constante (humedad del terreno) y variando el peso volumétrico.

2.- Suelos que no van a ser compactados o removidos.

a) Precipitación baja o media con buen drenaje: la prueba se efectua con el peso volumétrico del lugar y con la humedad óptima.

b) Precipitación alta o mal drenada: La prueba se hace el peso volumétrico seco del lugar y variando la humedad de la óptima a esta más tres.

Nota: Ver tabla III.1

3.- Suelos que no vayan a ser compactados, si se considera que en el momento de hacer la prueba contienen ya la mayor humedad que son susceptibles de adquirir.

a) Prueba directa de V.R.5 en el lugar: Se realiza a la humedad y el peso volumétrico que tiene el suelo en el lugar (determinándose estos valores en el sitio inmediato a aquel en que se hizo la prueba de penetración).

b) En muestras inalteradas: Al peso volumétrico y a la humedad que tiene el suelo en el lugar (determinando estos valores en una porción de la muestra inalterada, o en el lugar donde se extrajo dicha muestra).

En la fig. III.7 se ven los resultados de una prueba de laboratorio.

SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE SERVICIOS TÉCNICOS
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA
OFICINA DE PRUEBAS FÍSICAS

ESTUDIO: _____ ENSAYE: _____
OBRA: _____ LOCALIZACIÓN: _____
SONDEO N°: _____ MUESTRA N°: _____
PROFUNDIDAD: _____ FECHA: _____
OPERO: _____ CALCULO: _____

PORTER MODIFICADA

PESO VOLUMÉTRICO SECO MÁXIMO (γ_m) Kg/m³ 1405
HUMEDAD ÓPTIMA (w_o) 30.8
HUMEDAD QUE CONTIENE EL MATERIAL (w_i) 7.2

GRADO DE COMPACTACIÓN %	<u>95</u>				
MOLDE N°					
PESO VOLUMÉTRICO SECO (γ) Kg/m ³	<u>1335</u>	EXPANSIÓN		EXPANSIÓN	
HUMEDAD DE PRUEBA (w_p) %	<u>32.3</u>	LEC. I =		LEC I =	
PESO MATERIAL USADO (P), Gr.	<u>4000</u>	LEC F =		LEC F =	
VOLUMEN DEL MOLDE (V) cm ³	<u>3300</u>	DIF =		DIF =	
AGUA POR AGREGAR cm ³ = $P(w_p - w_i) / (100 + w_i)$	<u>880</u>	H =		H =	
PESO MATERIAL HÚMEDO EN Gr. $P_w = \gamma_s(1 + w_p)V$	<u>4060</u>	% Exp =		% Exp =	
CARGA DE COMPACTACIÓN EN Kg					
HUMEDAD REAL DE PRUEBA					
PESO VOLUMÉTRICO SECO CORREGIDO					
GRADO DE COMPACTACIÓN CORREGIDO					

PENETRACIÓN	CARGA		CARGA		CARGA		CARGA	
	ANILLO	KG	ANILLO	KG	ANILLO	KG	ANILLO	KG
1.27 mm (0.05")								
2.54 mm (0.10")								
3.81 mm (0.15")								
5.08 mm (0.20")								
7.62 mm (0.30")								
10.16 mm (0.40")								
12.70 mm (0.50")								
VALOR RELATIVO DE SOPORTE CORREGIDO								

HUMEDAD QUE CONTIENE EL MATERIAL (w_i)	COMPROBACIÓN DE LA HUMEDAD DE PRUEBA								
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center; width: 50%;"> <u>39</u> <u>186.0</u> <u>59.0</u> <u>177.3</u> <u>118.3</u> <u>8.7</u> <u>7.4</u> </td> <td style="text-align: center; width: 50%;"> <u>97</u> <u>185.0</u> <u>61.0</u> <u>176.9</u> <u>115.9</u> <u>8.1</u> <u>7.0</u> </td> </tr> </table>	<u>39</u> <u>186.0</u> <u>59.0</u> <u>177.3</u> <u>118.3</u> <u>8.7</u> <u>7.4</u>	<u>97</u> <u>185.0</u> <u>61.0</u> <u>176.9</u> <u>115.9</u> <u>8.1</u> <u>7.0</u>	<table style="width: 100%; height: 100px;"> <tr> <td style="width: 50%; border-right: 1px solid black;">+</td> <td style="width: 50%;">+</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black;">+</td> <td>+</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black;">+</td> <td>+</td> </tr> </table>	+	+	+	+	+	+
<u>39</u> <u>186.0</u> <u>59.0</u> <u>177.3</u> <u>118.3</u> <u>8.7</u> <u>7.4</u>	<u>97</u> <u>185.0</u> <u>61.0</u> <u>176.9</u> <u>115.9</u> <u>8.1</u> <u>7.0</u>								
+	+								
+	+								
+	+								

FIG. III.7

El cálculo de los espesores de las diferentes capas del pavimento, se lleva a cabo por medio de nomogramas total o parcialmente empíricos, que aunque inicialmente se basen en un modelo matemático, se modifican a medida que se analizan los resultados que se van teniendo en la realidad. Esto siempre se hace con base en una prueba de resistencia. El espesor se calcula en función del tránsito acumulado y el V.R.S de diseño.

La forma en que se calculan los espesores es la siguiente: Se obtiene el número de ejes equivalentes acumulados que se tendrán en la vida útil del pavimento, de acuerdo con la tabla III.2 y con el V.R.S de diseño, se entra en la gráfica III.6 y así se obtiene el espesor de la parte superior de la capa en la que se hace la prueba de V.R.S, que equivale a una capa de material granular.

Conociendo el espesor de la carpeta, de acuerdo al tipo de carpeta que se necesita para un tránsito dado (ver tabla en la parte superior de la gráfica III.6), se pueden conocer los espesores de cada capa del pavimento. Estos espesores pueden variar de acuerdo al criterio del ingeniero, en lo referente a especificaciones, condiciones de construcción, tipos de materiales disponibles, etc. En la fig. III.8 se puede ver la forma en que se obtienen dichos espesores.

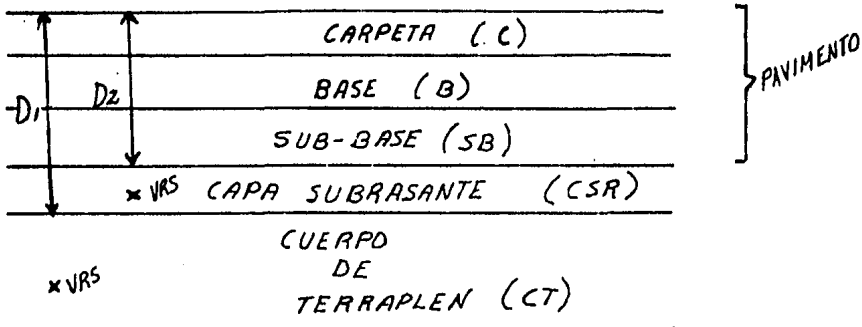


Fig. III.8

Con el VRS de diseño del CT se obtiene el espesor D_1 y con el VRS de diseño de la CSR se obtiene D_2 .

Entonces:

$$CSR = D_1 - D_2 > 30 \text{ cm}$$

Si:

PORTER MODIFICADA

CARRETERA (OBRA): _____ FECHA _____
 TRAMO: _____
 SUBTRAMO: _____

DATOS DE PROYECTO:

- 1.- Tránsito Diario promedio anual en ambos sentidos _____
- 2.- Tránsito Diario en el carril de diseño (%) _____
- 3.- Período de Diseño (años) (n) _____
- 4.- Tasa de crecimiento anual (r) _____
- 5.- Factor de conversión (c) _____

CALCULO DE TRANSITO EQUIVALENTE

TIPO DE VE HICULO.	DISTRIBUCION DEL TRANSITO EN %	DISTRIBUCION DEL TRANSITO (VEHICU LOS)	COEFICIENTE DE EQUIVALENCIA	EJES SENCII EQUIVALENTI DE 8.2 TON. (5)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Automóvil			0.0004	
Autobús			1.12	
Camión 5 T			0.03	
Camión 17 T			0.8	
Camión 25 T			1.65	

SUMA:

Tránsito acumulado al final de la vida útil
 Factor de conversión x suma

CALCULO DE ESPESORES

1.- VRS de diseño de las terracerías			
2.- Índice de espesor (cm)			
3.- VRS de diseño de la capa subrasante			
4.- Índice de espesor (cm)			
5.- Estructuración del pavimento en espe- sores equivalentes:	CARPETA DE BASE (BH) SUB-BASE (SB) SUBRASANTE (SR)		
6.- Estructuración del pavimento en espe- sores reales:	CARPETA DE BASE (BH) SUB-BASE (SB) SUBRASANTE (SR)		

TABLA, III.2

TABLA III.2

SUMA :

OBSERVACIONES:

Fg.(27)
60

$$C = 365 \frac{(1+r)^n - 1}{r}$$

$D = a_1 d_1 + a_2 d_2 + a_3 d_3 + \dots$ a = factor de equivalencia d = espesor de la capa
 $a = 2.0$ Carpeta de concreto asfáltico $a = 1.3$ a 1.8 Mezclas asfálticas
 $a = 1.8$ Base mejorada con cemento Pí $a = 1.0$ Materiales naturales o tratados mecánicamente
 $a = 1.5$ Base mejorada con cal $a = 0$ Carpeta de un riego

TIPO Y ESPESORES DE CARPETA

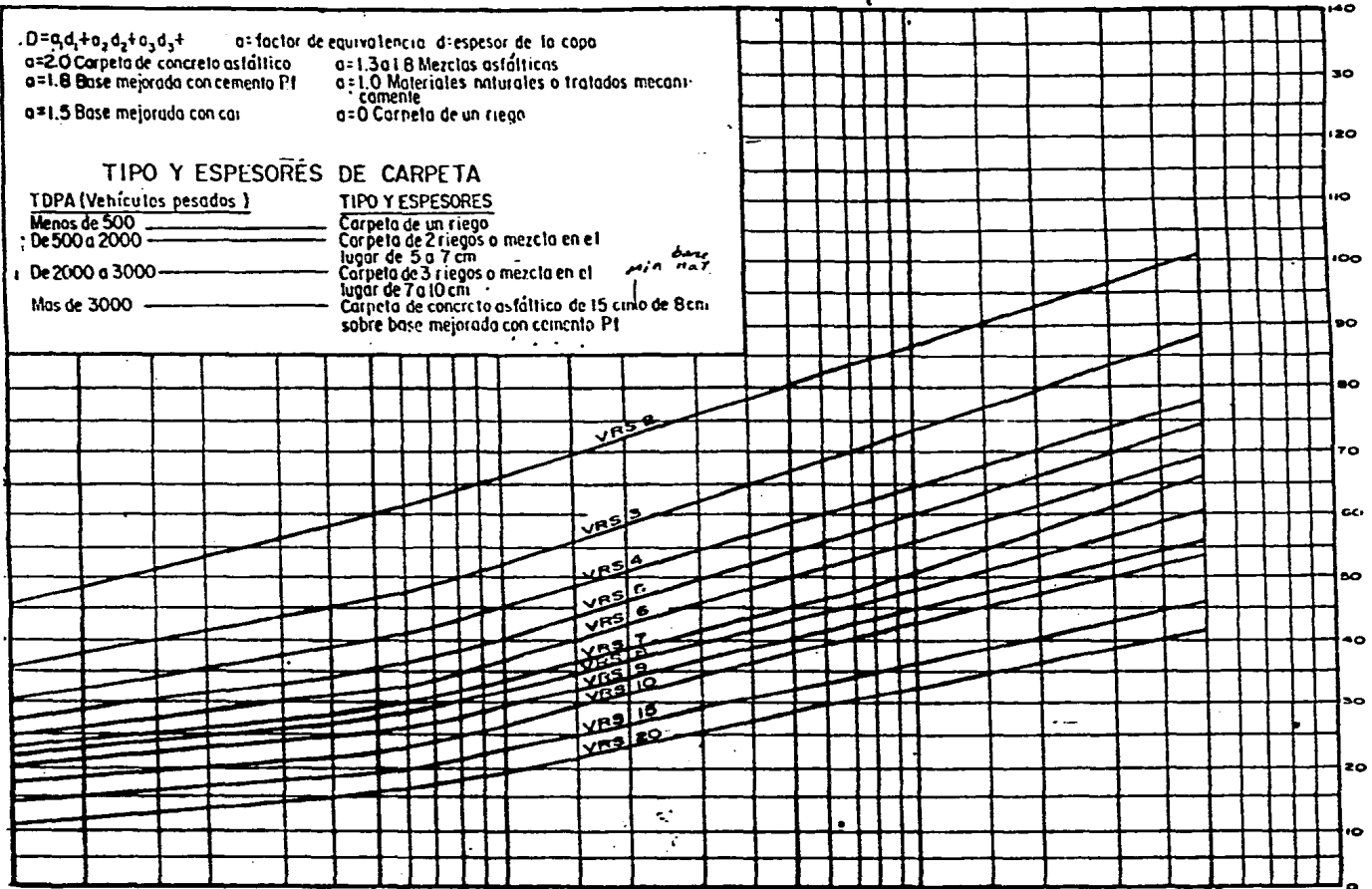
TDPA (Vehículos pesados)

- Menos de 500 _____
- De 500 a 2000 _____
- De 2000 a 3000 _____
- Más de 3000 _____

TIPO Y ESPESORES

- Carpeta de un riego
- Carpeta de 2 riegos o mezcla en el lugar de 5 a 7 cm
- Carpeta de 3 riegos o mezcla en el lugar de 7 a 10 cm
- Carpeta de concreto asfáltico de 15 cm de 8 cm sobre base mejorada con cemento Pí

min base nat.



XL = Ejes acumulados (Millones)

a = Factor de equivalencia
d = Espesor de la capa

$$D2 = a1 d1 + a2 d2 + SB$$

(C) (B)

$$SB = D2 - a1 d1 - a2 d2$$

III.3 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.

Desde el punto de vista de procedimiento constructivo, es indistinto reforirse a la sub-base y a la Base, pues una y otra se construyen en la misma forma.

Sobre la superficie terminada de la Base, exenta de materiales extraños y de polvo, usualmente se coloca un "riego de impregnación", que es la aplicación de un asfalto rebajado a una superficie terminada, con objeto de impermeabilizarla y/o estabilizarla para favorecer la adherencia entre ella y la carpeta asfáltica. El asfalto que se usa, es de fraguado medio, del tipo que fije el proyecto.

También, usualmente, sobre el riego de impregnación, y una vez que se haya penetrado totalmente, se coloca un "riego de liga", con un asfalto de fraguado rápido del tipo que fije proyecto. Estos riegos se dan por medio de una petrolizadora.

Constituye la superficie de rodamiento y ésta debe ser adecuada, con textura y color convenientes y resistir los efectos abrasivos del tránsito. Además debe ser una capa prácticamente impermeable, constituyendo una protección para la base.

IV.1 CARACTERISTICAS DE PETREOS.

Son fragmentos duros y resistentes seleccionados que, aglutinados con un material asfáltico, se emplean para construir carpetas o mezclas asfálticas. Estos se clasifican en la siguiente forma:

Materiales Que Requieren Ser Cribados.- Son los poco o nada cohesivos que al extraerlos quedan sueltos.

Materiales Que Requieren Ser Triturados Parcialmente y Cribados.- Son los poco o nada cohesivos, o bien, materiales cohesivos que al extraerlos resultan con terrones que pueden disgregarse y que según su composición granulométrica, contienen en cada caso, partículas mayores que la dimensión requerida.

Materiales Que Requieren Ser Triturados Totalmente y Cribados.- Pueden provenir de piedra extraída de mantos de roca, de piedra de pepena o de piedra suelta de depósitos naturales o desperdicios.

IV.2 MATERIALES ASFALTICOS.

Se emplean para aglutinar los materiales pétreos empleados en la elaboración de carpetas y de Sub-bases y Bases estabilizadas; además para ligar o unir tales capas entre si.

El asfalto es un material bituminoso, sólido o semisólido, con propiedades aglutinantes y que se licua gradualmente al calentarse. Esta constituido , principalmente, por asfaltenos, resinas y aceites; estos constituyentes le dan al asfalto sus características de consistencia, poder de aglutinación y ductibilidad.

Los tipos de materiales asfálticos que existen son los siguientes:

a) **Cementos asfálticos.-** Son los asfaltos obtenidos por un proceso de destilación del petróleo para eliminar a este sus solventes volátiles y parte de los aceites.

b) **Asfaltos rebajados.-** Son los materiales asfálticos líquidos, compuestos de un cemento asfáltico y un disolvente; según el cual se tiene la siguiente clasificación:

- De fraguado rápido: nafta o gasolina
- De fraguado medio: queroseno
- De fraguado lento: de baja volatilidad o aceite ligero

c) Emulsiones asfálticas.- Son los materiales asfálticos líquidos estables, formados en dos fases no miscibles, en los que la fase continua por pequeños globulos de asfalto; es la mezcla hecha en planta, de 65% de asfalto no, 6, 35% de agua, 6.5 kg/ton de emulsificante y 6 kg/ton de HCL (ácido clorhídrico).

Dependiendo del agente emulsificante, éstas pueden ser:

- Aniónicas: Si los glóbulos de asfalto tienen carga electronegativa. (resina)
- Catiónicas: Si los glóbulos asfálticos tienen carga electropositiva. (grasa animal)

Las emulsiones asfálticas pueden ser de rompimiento rápido, medio y lento.

Las normas indican la temperatura a la que deben estar los materiales asfálticos en el momento de su empleo y estas son:

a) Cementos Asfálticos:

de 120°C a 160°C

b) Asfaltos Rebajados de:

Fraguado Lento

FL-0	de	20°C	a	30°C
FL-1	de	30°C	a	45°C
FL-2	de	75°C	a	85°C
FL-3	de	85°C	a	95°C
FL-4	de	95°C	a	100°C

c) Asfaltos Rebajados de:

Fraguado Medio

FM-0	de	20°C	a	40°C
FM-1	de	30°C	a	60°C
FM-2	de	70°C	a	85°C
FM-3	de	80°C	a	95°C
FM-4	de	90°C	a	100°C

d) Asfaltos Rebajados de:

Fraguado Rápido

FR-0	de	20°C	a	40°C
FR-1	de	30°C	a	50°C
FR-2	de	40°C	a	60°C
FR-3	de	60°C	a	80°C
FR-4	de	80°C	a	100°C

e) Emulsiones Asfálticas:

por lo general no se les deberá aplicar

calentamiento.

de 5°C a 40°C
(temperatura ambiente)

Nota: Por ningún motivo deberán aplicarse los materiales asfálticos cuando la temperatura ambiente sea inferior a 5°C, cuando haya amenaza de lluvia o cuando la velocidad del viento impida que la aplicación con patrolizadora sea uniforme.

Estos tipos de materiales asfálticos se diferencian por sus distintas características, por ejemplo, la viscosidad, las cuales pueden verse en las normas.

IV.3 TIPOS DE CARPETA Y SU CONSTRUCCION.

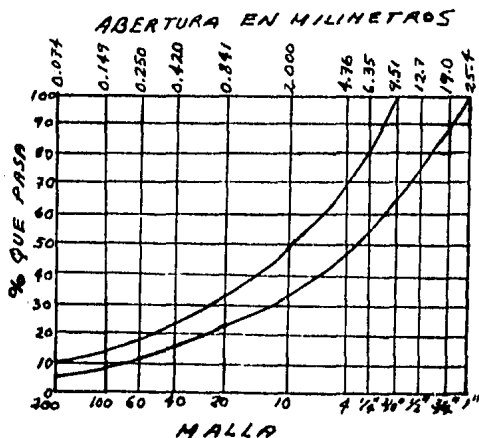
a) Concreto Asfáltico.

Son las carpetas que se construyen mediante el tendido y compactación de mezclas elaboradas en caliente, en una Planta Estacionaria, utilizando cementos asfálticos y materiales pétreos. Estas mezclas son las de más alta calidad y se emplean en pavimentos con elevada intensidad de tránsito y con gran peso.

Los materiales pétreos que se utilizan para carpetas de concreto asfáltico, deben cumplir con las siguientes especificaciones:

- 1.- La curva granulométrica debe quedar comprendida en la zona limitada por las dos curvas de la siguiente gráfica:

Graf. IV.1



Que en cada caso el proyecto fijará la granulometría correspondiente de acuerdo con el diseño de la mezcla.

- | | |
|---|----------|
| 2.- Contracción lineal: | 2% máx. |
| 3.- De desgaste de los Angeles: | 40% máx. |
| 4.- Forma de las partículas:
alargadas y en forma de laja... | 35% máx. |
| 5.- Equivalente de arena: | 55% máx. |
| 6.- De afinidad con el asfalto: | |
| a) desprendimiento por fricción... | 25% máx. |
| b) cubrimiento con asfalto... | 90% mín. |
| c) pérdida de estabilidad
por inmersión en agua... | 25% máx. |

Las cualidades de los componentes deben ser las siguientes:

Naturaleza y Calidad de los Agregados.- dureza, forma, afinidad con el cementante.

Granulometría.- distribución de tamaños.

Calidad del Cemento Asfáltico.- en general se usa en México el cemento asfáltico no. 6, su penetración varia de 80-100, ésto debe cuidarse, ya que los cementos "duros" en mezclas de alta compactación, producen carpetas "frágiles".

Las cualidades de la mezcla deben ser:

- Resistencia
- Durabilidad
- Textura
- Impermeabilidad

Al mezclar los agregados pétreos y el cementante; la mezcla debe ser homogénea, las proporciones de los cementantes, adecuada (diseño de la mezcla) y el equipo usado para su elaboración no debe alterar las propiedades del cemento por defecto en el control de la temperatura.

El procedimiento de construcción incluye las siguientes etapas:

- Mezclado
- Transporte
- Tendido
- Compactación

El mezclado se lleva a cabo en plantas diseñadas para ese propósito. Estas pueden ser:

- Plantas de producción discontinua o de batches.
- Plantas de producción continua.

El funcionamiento de los dos tipos de planta es básicamente el mismo, el cual se describe a continuación:

El material procedente del almacén se alimenta a la planta, depositándose en las tolvas para material frío (1), por lo general son cuatro tolvas, dispuestas para alimentar material pétreo de distintos tamaños. Estas tolvas están equipadas, en su descarga, con compuertas ajustables para regular la caída del material al alimentador de fríos(2), el cual puede ser de banda o de vaivén; por lo que es posible dosificar el material pétreo frío, para que caiga al depósito (3) con una primera graduación granulométrica. De éste depósito es llevado por el elevador de cangillones (4), hasta la tolva de entrada del secador(5), en esta parte se encuentra una rejilla para impedir la entrada de objetos mayores al tamaño fijado. Al entrar el material al secador(7), el polvo(6), puede ser reincorporado, en caso necesario, en el recipiente(8), en donde se une al material que sale del secador. De allí es llevado por un segundo elevador de cangillones(9), hasta las cribas vibratorias(10), para ser separado por tamaños depositándose en las tolvas de material saliente(11), por las compuertas(12) de estas tolvas se extrae de cada una la cantidad que fija la granulometría de proyecto, y adicionando por la válvula(13), el cemento asfáltico caliente. Los materiales ya dosificados, así como el cemento asfáltico pasan al mezclador(14), en donde se homogeniza la mezcla y se descarga al camión que lo ha de transportar.

En la fig. IV.1 se muestra una mezcladora discontinua.

En las plantas continuas, el material procedente de las tolvas de almacenaje en caliente, se dosifica por medio de compuertas regulables que descargan sobre los alimentadores de material caliente. Todos los materiales son transportados al mezclador en forma continua.

El asfalto también afluye en forma continua, y se regula con un sistema de bombeo conectado con el mecanismo de dosificación, de tal forma que se obtiene una relación constante entre la cantidad total de los agregados pétreos y el producto asfáltico empleado, en forma independiente de la velocidad de producción de la carpeta.

En la fig. IV.2 se muestra una mezcladora continua.

El transporte del concreto asfáltico se hace en vehículos con caja metálica, cubriéndolo con una lona que lo preserve del polvo, materias extrañas y de la pérdida de calor durante el trayecto. La superficie interior de la caja deberá estar siempre libre de residuos de concreto asfáltico, para evitar que la mezcla se adhiera a la misma.

INSTALACION MEZCLADORA DISCONTINUA

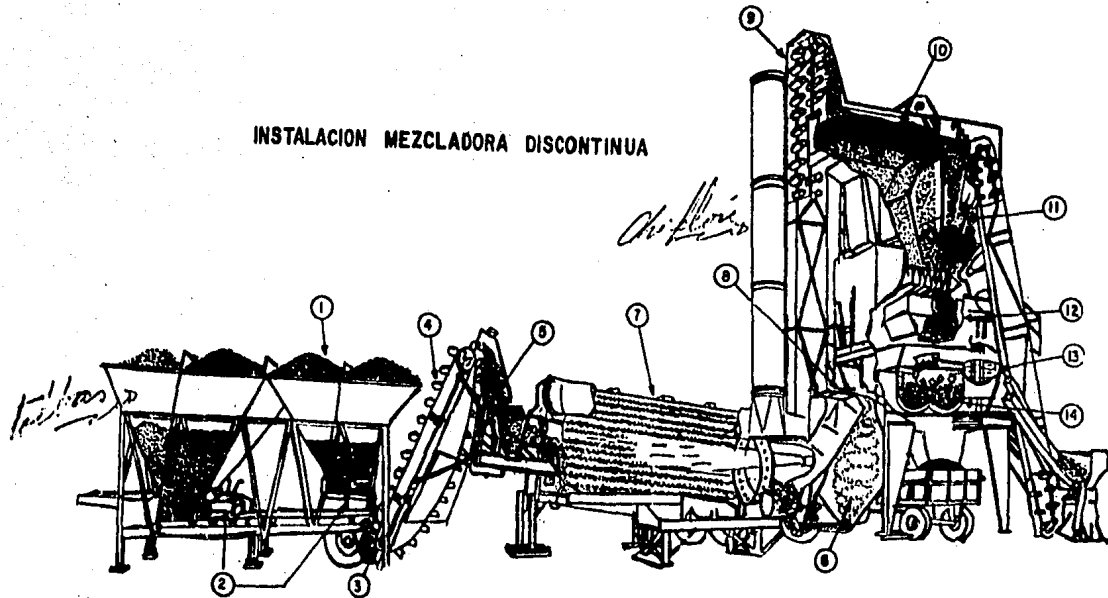


FIG. IV.1

INSTALACION MEZCLADORA CONTINUA

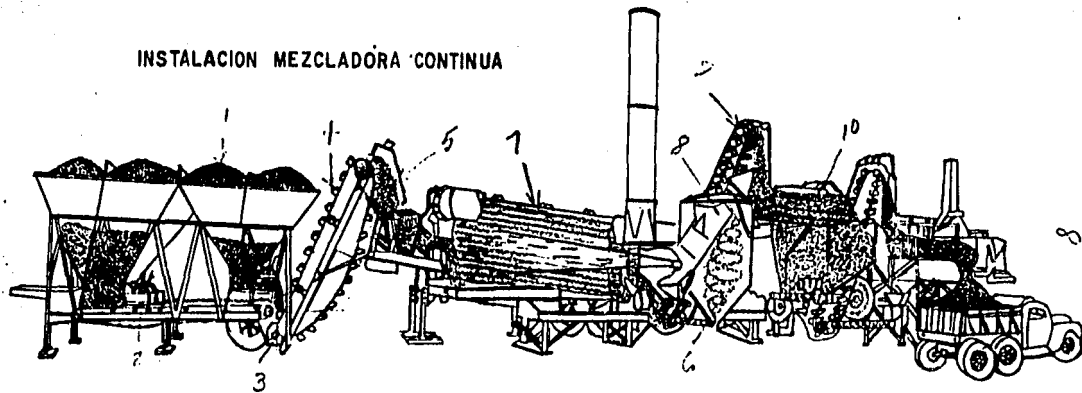


FIG. IV.2

El tendido debe hacerse con una máquina extendidora-pavimentadora, de propulsión propia y con dispositivos necesarios para garantizar:

- Un extendido continuo
- Un espesor controlado
- Una compactación primaria
- Una mezcla uniforme

La mezcla se vacía dentro de la caja receptora de la máquina y debe ser tendida inmediatamente, en el espesor y anchos fijados en el proyecto.

La velocidad de la máquina debe regularse, de tal forma que el tendido siempre sea uniforme en espesor y acabado. También deberán limpiarse, con la frecuencia necesaria, todas aquellas partes de la máquina en donde queden residuos de la mezcla.

No deberá tenderse concreto asfáltico sobre una base húmeda, encharcada o cuando este lloviendo.

La compactación se hará por medio de dos equipos: rodillos lisos y rodillos neumáticos; y se realiza en la siguiente forma:

Una vez tendido el concreto asfáltico, se debe dar un acomodo inicial a la mezcla por medio de una aplanadora de rodillo liso; después se compacta utilizando compactadores de llantas neumáticas; inmediatamente después se emplea una plancha de rodillo liso para borrar las huellas de los compactadores de llantas neumáticas.

La compactación debe hacerse longitudinalmente, paralela al eje, realizando el recorrido de las orillas de la carpeta hacia el centro, en las tangentes; y del lado interior al exterior, en las curvas. (en carreteras)

Para lograr una buena compactación, se deben tomar en cuenta los siguientes factores:

- El espesor de la capa.
- El tipo de agregado, granulometría y forma de las partículas.
- El diseño de la mezcla.
- El peso y tipo de compactador.
- La temperatura de compactación.

La supervisión y control deben comenzar en el momento de iniciarse la producción del concreto asfáltico, sin embargo, debe vigilarse la maniobra de instalación y armado de la planta, con objeto de prever probables causas de futuros problemas de producción.

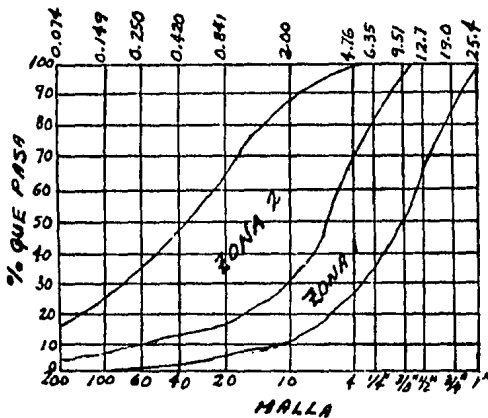
En el concreto asfáltico no pueden descuidarse ni la elaboración, ni el tendido, ni la compactación; con objeto de

obtener una buena carpeta.

b) Mezclas Asfálticas.

Comprenden las "Carpetas de Mezcla en Frio con Planta Estacionaria" y las "Carpetas de Mezcla en en el Lugar". En los dos casos, los materiales pétreos que se emplean deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Granulometría: El material pétreo debe presentar una curva granulométrica continua, la cual deba quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el superior de la zona 2, de la graf. IV.2 (la zona 1, corresponde a materiales gruesos y la zona 2, a los finos). Además esta curva deba seguir en la mayor parte de su longitud la forma de algunas de las curvas límites.



Graf. IV.2

-Contracción Lineal:

1) cuando la curva granulométrica del material pétreo quede en la zona 1, será de 3% máximo. (de la graf. anterior)

2) Cuando quede ubicada en la zona 2, será de 2% máximo. (de la gráfica anterior)

- Desgaste de los Angeles: Para cualquier tipo de material pétreo, será de 40% máximo.

- Forma de las Partículas: Partículas alargadas y/o en forma de laja 35% máximo.
- Afinidad con los Asfáltos: Debe cumplir, cuando menos, con dos de las siguientes pruebas:
 - 1) Desprendimiento por fricción - 25% máximo
 - 2) Cubrimiento con Asfalto - 90% máximo
 - 3) Pérdida de estabilidad por inmersión de agua-25% máximo
- Equivalente de Arena: 55% mínimo.

Las mezclas en planta en frío, se asemejan en muchos aspectos a las mezclas en planta en caliente; solo que en las primeras se emplean asfaltos rebajados o emulsiones asfálticas y su mezcla se hace a la temperatura ambiente. Las mezclas en frío pueden emplearse o almacenarse para uso futuro. El tipo de material asfáltico que se utilice depende del uso al que se destina la mezcla.

Las mezclas fabricadas con asfaltos rebajados deben ventilarse perfectamente, antes de la compactación, debido al contenido de elementos volátiles. La ventilación se realiza removiendo la mezcla con motoconformadoras sobre el camino, hasta que se ha evaporado una gran proporción de los disolventes. Cuando se han ventilado lo suficiente, estas mezclas parecen ser más difíciles de manejar, pero aún conservan la necesaria ductilidad para ser extendidas fácilmente con motoconformadora.

Las mezclas fabricadas con emulsión asfáltica de rotura media (FM-2) se ponen en obra y se compactan sin necesidad de ventilación.

Para mezclar los materiales pétreos y el material asfáltico se suelen emplear plantas móviles de diversos tipos.

El tendido de las mezclas en planta se realiza generalmente con una extendidora igual a la que tiende la carpeta de mezcla en caliente, y el procedimiento es el mismo.

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

Las carpetas de mezclas en el lugar, se construyen, como su nombre lo indica, en el lugar de la obra y se construye mediante el mezclado, tendido y compactación de materiales pétreos y un material asfáltico.

Los materiales asfálticos que se emplean son los rebajados de

fraguado rápido o medio, o emulsiones de rompimiento medio o lento.

Las mezclas en el lugar son las llamadas "frías" y la incorporación de los agregados con el cementante se hace en frío.

El cementante, para el caso de los asfaltos rebajados, usa como vehículo, gasolina; y para el caso de las emulsiones, usa el agua. La mezcla puede transportarse a la temperatura ambiente, esto solo se ve limitado por bajas temperaturas.

En el mezclado se pueden utilizar motoconformadoras o mezcladoras ambulantes. El mezclado con motoconformadoras constituye uno de los métodos más antiguos de construcción de capas asfálticas superficiales. Los materiales asfálticos más adecuados para este tipo de mezclado son los del tipo: FR-2 y FR-3, y la emulsión asfáltica del tipo RM-2. Para efectuar la mezcla de los materiales pétreo y asfáltico, deberá aplicarse este último por medio de petrolizadora, sobre el material pétreo parcialmente extendido. Esto se hace en varias aplicaciones y, después de cada aplicación se procede a revolverlos, con objeto de facilitar la incorporación del material asfáltico al pétreo. Una vez que se haya aplicado toda la cantidad de material asfáltico, se efectuará un mezclado final hasta obtener un producto homogéneo.

Para mezclas con asfaltos rebajados; después de efectuada la mezcla, ésta se debe remover lo suficiente, con el fin de eliminar por evaporación, la mayor parte del contenido de disolvente y de humedad. La extensión y compactación de la mezcla no debe realizarse hasta que el contenido de volátiles se haya reducido a menos del 25% de la cifra original y el contenido de humedad no exceda del 2%. Para mezclas con emulsiones asfálticas, se aplicará agua para dar la humedad fijada en el proyecto.

Cuando se utilizan mezcladoras ambulantes el procedimiento se hace dependiendo del equipo que se vaya a emplear, solo que al final debe quedar un producto homogéneo.

El tendido de la mezcla en el lugar generalmente se realiza con la misma motoconformadora, solo que este tendido debe ser muy preciso y para esto la máquina debe estar en buenas condiciones y el operador debe ser altamente calificado (operador de mezcla negra).

La compactación se hará inmediatamente después, utilizando un rodillo liso tipo tandem, adecuado para dar un acomodo inicial a la mezcla; a continuación se pasará un compactador de llantas neumáticas y por último se empleará una plancha de rodillo liso, para borrar las huellas que dejen los compactadores de llantas neumáticas.

c) Carpetas por el Sistema de Riegos.

Son las que se construyen mediante uno, dos o tres riegos de materiales asfálticos, cubiertos sucesivamente con capas de materiales pétreos de diferentes tamaños, triturados y cribados. Estas carpetas se usan para tránsitos ligeros (menores de 250 vehíc. por día.). Los materiales pétreos que se utilizan en la construcción de este tipo de carpetas, son los que se indican en la siguiente tabla:

DENOMINACION DEL MATERIAL PETREO	QUE PASA POR MALLA DE DE	Y SE RETENGAZ EN LA MALLA DE
1	25.4 mm (1")	12.7 mm (1/2")
2	12.7 mm (1/2")	6.3 mm (1/4")
3.A	9.5 mm (3/8")	2.38 mm num 8
3.B	6.3 mm (1/4")	2.38 mm num 8
3.E	9.5 mm (3/8")	4.76 mm num 4

Tabla IV.1

Y deben cumplir las siguientes granulometrías:

H A L L A S	CONDICIONES	DENOMINACION DEL MATERIAL PETREO				
		1	2	3-A	3-B	3-C
De 31.8 mm (1 1/4")	Debe pasar	100%				
De 25.4 mm (1")	Debe pasar	95% mínimo				
De 19.1 mm (3/4")	Debe pasar		100%			
De 12.7 mm (1/2")	Debe pasar		95% mínimo	100%		100%
	Debe retenerse	95% mínimo				
De 9.5 mm (3/8")	Debe pasar			95% mínimo	100%	95% mínimo
De 6.3 mm (1/4")	Debe pasar				95% mínimo	
	Debe retenerse		95% mínimo			
Núm. 4	Debe retenerse					95% mínimo
Núm. 8	Debe retenerse		100%	95% mínimo	95% mínimo	100%
Núm. 40	Debe retenerse			100%	100%	

Tabla IV.2

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

- Desgaste de los Angeles:
para cualquier tipo de material pétreo - 30% máx.
- Intemperismo Acelerado: - 12% máx.
- Forma de las Partículas:
para partículas alargadas y/o en forma de laja - 35% máx.
- Afinidad con el Asfalto:
 - 1) Desprendimiento por fricción - 25% máx.
 - 2) Cubrimiento con Asfalto - 90% máx.

Los materiales asfálticos que se usan son: cementos asfálticos, asfaltos rebajados de fraguado rápido o emulsiones de rompimiento rápido.

Para la construcción de este tipo de carpetas, se utiliza una "Patrolizadora"; ésta máquina consiste básicamente en un tanque de almacenamiento para el asfalto y está provista de un sistema de calentamiento, de una bomba de presión, una barra de riego con espesas, tacómetro, termómetro y aditamento de medición de volúmenes. Esta máquina debe ser capaz de regar los asfaltos de una manera uniforme y dosificada; para ello, el asfalto debe tirarse a una temperatura adecuada, y la presión en las espesas debe ser

una temperatura adecuada, y la presión en las espreas debe ser uniforme.

En la fig. IV.3 se muestra una petrolizadora.

También se utiliza un "Esparcidor" de materiales pétreos; ésta máquina se engancha a un camión de volteo y sirve para extender el material pétreo de una manera uniforme y continua.

El material pétreo cae del camión a la caja del esparcidor, un tornillo de Arquímedes movido por una cadena, desde las ruedas del esparcidor se encarga de uniformizar el flujo del material y una compuerta, movida por una palanca, regula el flujo del material. En la fig. IV.4 se muestra un esparcidor.

Los principales defectos a evitar en carpetas de riegos son:

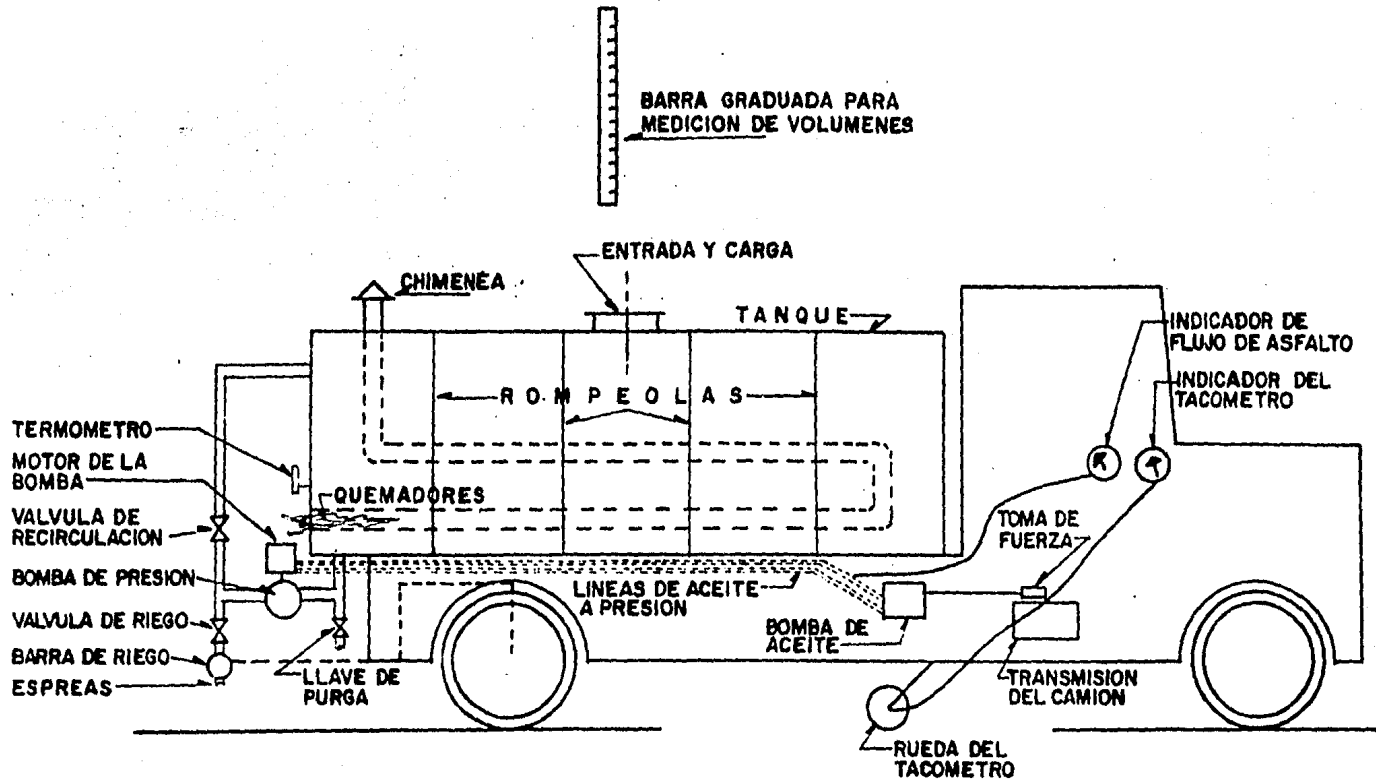
- 1) Rayado (aparición de rayas longitudinales).
- 2) Poco asfalto.
- 3) Desprendimiento de agregados.

Estos defectos se evitan con riegos uniformes y bien dosificados.

Carpetas de Un Riego.-

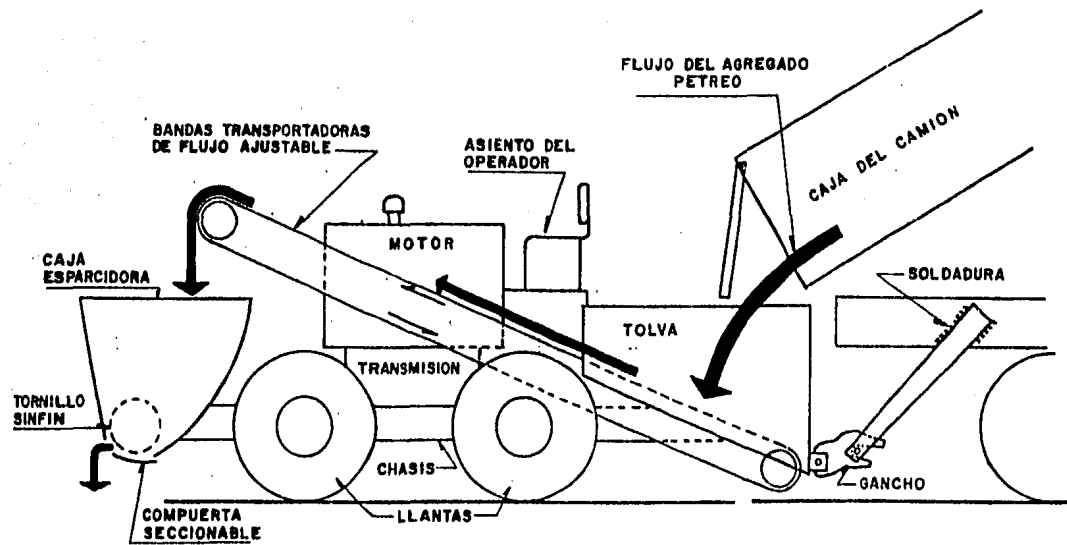
Estas carpetas se construyen en las siguientes etapas:

- 1o. Se barre la base (impregnada) ; la impregnación debe curarse durante 24 hrs. por lo menos.
- 2o. Sobre la base superficialmente seca se le da un riego de material asfáltico del tipo y cantidad fijados en el proyecto. Para asegurar una alineación adecuada de la aplicación del material asfáltico se atiranta una cuerda a largo del paseo o cerca del borde de la aplicación, de modo que sirva de guía al conductor de la petrolizadora.
- 3o. Se cubre el riego de material asfáltico con uno de los materiales pétreos 3-A o 3-B que fije el proyecto y en la cantidad fijada. Esto se hace por medio de un esparcidor mecánico y esto debe hacerse en un tiempo máximo especificado.
- 4o. Se debe apisonar toda la superficie de una sola pasada de un rodillo de llanta metálica; después puede barrerse la superficie con una barredora arrastrada o pasar una hoja ligera para obtener una distribución más uniforme de los pétreos. a continuación se procede al apisonado con rodillo de llanta rígida o de neumáticos, o con una combinación de ambos tipos, hasta conseguir una perfecta adherencia de los materiales pétreos con el material asfáltico.
- 5o. Transcurrido un tiempo no menor de tres días se recolectará



CROQUIS DE UNA PETROLIZADORA

FIG. IV.3



CROQUIS DE UN ESPARCIDOR
AUTOPROPULSADO

FIG. IV.4

mediante barrido y se removerá el material pétreo excedente que no se adhiera al material asfáltico.

Carpetas de Dos Riegos.

El procedimiento que se sigue es el siguiente:

- 1o. Igual que en un riego.
- 2o. Igual que en un riego (generalmente con material FR-3 o emulsiones de rompimiento rápido).
- 3o. Igual que en un riego (con material pétreo núm 2).
- 4o. Igual que en un riego.
- 5o. Se da un segundo riego sobre el material pétreo, del tipo y en la cantidad de material asfáltico fijados en el proyecto.
- 6o. Se cubre el segundo riego con una capa de material pétreo 3-B en la cantidad fijada en el proyecto.
- 7o. Igual que el punto 4o. de uno y dos riegos.
- 8o. Igual que el punto 5o. de un riego, solo que ahora el material pétreo excedente es 3-B.

Carpeta de Tres Riegos.

- 1o. Igual que en uno y dos riegos.
- 2o. Igual que en dos riegos.
- 3o. Igual que en uno y dos riegos (con material pétreo núm. 1).
- 4o. Igual que en uno y dos riegos.
- 5o. Igual que en dos riegos.
- 6o. Igual que en dos riegos (con material pétreo núm. 2).
- 7o. Igual que en dos riegos.
- 8o. Se da un tercer riego sobre el material pétreo, del tipo y en la cantidad, de material asfáltico, fijados en el proyecto.
- 9o. Se cubre el tercer riego de material asfáltico con una capa de material pétreo 3-B.
- 10o. Igual que el punto 4o. de uno, dos y tres riegos.

El traslape de las aplicaciones de material asfáltico en la unión de dos aplicaciones, produce un exceso de asfalto que fluye a la superficie y se origina una situación de inestabilidad y un aspecto desagradable del riego terminado. Para evitar estos problemas, al final de una aplicación y al comienzo de otra, las aplicaciones de material asfáltico deben empezar y terminar todas sobre una o más tiras de papel de construcción o de envolver, colocado a través del camino antes de iniciar el trabajo, de manera que el nuevo riego se empiece desde la tira de protección y al retirarse esta, quede aplicación sin traslape.

Entre la terminación de la capa correspondiente al material pétreo y el siguiente riego de material asfáltico deberá transcurrir un lapso que, en general, no será menor de 4 días.

Inmediatamente después de haber tendido el material pétreo, para tener una mejor distribución del mismo, se le pasa una rastra ligera con cepillos de fibra o de raíz, dejando la superficie exenta de ondulaciones, bordos y depresiones.

Las cantidades de materiales pétreos y de cemento asfáltico, en términos generales, estarán comprendidas dentro de los límites que se indican en la siguiente tabla: lt/m².

M A T E R I A L E S	T I P O D E C A R P E T A		
	Tres Riegos	Dos Riegos	Un Riego
Cemento asfáltico	0.6 - 1.1		
Material pétreo num 1	20 - 25		
Cemento asfáltico	1.0 - 1.4	0.6 - 1.1	
Material pétreo num 2	8 - 12	8 - 12	
Cemento asfáltico			0.7 - 1.0
Material pétreo 3-A			8 - 10
Cemento asfáltico	0.7 - 1.0	0.8 - 1.1	
Material pétreo 3-B	6 - 8	6 - 8	
Cemento asfáltico			0.8 - 1.0
Material pétreo 3-E			9 - 11

Tabla IV.3

Notas:

- 1) El cemento asfáltico considerado en ésta tabla, se refiere al que existe en los materiales asfálticos que se emplean.
- 2) Para calcular la cantidad de material asfáltico por aplicar, deberá dividirse el valor anotado en esta tabla, entre el contenido de cemento que presente el material asfáltico utilizado, ambos expresados en litros.

Durante la construcción de este tipo de carpetas , no deberá permitirse el tránsito de vehículos sobre ellas; esta suspensión deberá continuar por un período no menor de 24 hrs., después del tendido y planchado del material 3.

Consiste en la aplicación de un material asfáltico, cubierto con una capa de material pétreo.

V.1 FUNCIONES.

Impermeabilizar la carpeta, protegerla del desgaste y proporcionar una superficie antiderrapante.

V.2 MATERIALES.

Los materiales pétreos que se utilizan para su construcción son los 3-A o 3-B, de la tabla IV.1 del capítulo anterior, y deben cumplir con las mismas especificaciones que los utilizados para carpetas por el sistema de riegos.

Los materiales asfálticos que se utilizan son: cementos asfálticos, asfaltos rebajados de fraguado rápido o emulsiones de rompimiento rápido, cuyas especificaciones se pueden encontrar en las normas. Cuando se requiera un aditivo para los materiales asfálticos, se fijara en el proyecto.

Dependiendo de las condiciones de la carpeta por sellar, y de los materiales que van a utilizarse; se fijan, mediante pruebas sobre la carpeta, las cantidades, tanto de materiales pétreos como de asfalto, que deban utilizarse para el riego de sello. En términos generales, estas cantidades estarán comprendidas entre los límites que se indican en la siguiente tabla:

M A T E R I A L E S	Tamaño del Material Pétreo	
	3 - A	3 - E
Cemento asfáltico (lt/m ²)	0.7 a 1.0	0.8 a 1.0
Material pétreo (lt/m ²)	9 a 10	9 a 10

Tabla V.1

NOTAS:

- 1) El cemento asfáltico considerado en esta tabla se refiere al que existe en los materiales asfálticos se empleen.
- 2) Para calcular la cantidad de material asfáltico por aplicar, deberá dividirse el valor anotado en esta tabla, entre el contenido de cemento que presente el material asfáltico utilizado, ambos expresados en litros.

V.3 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.

Este se realiza en las siguientes etapas:

- 1o. Antes de aplicar el riego de sello, la superficie debe estar seca y ser barrida para estar exenta de materias extrañas y polvo.
- 2o. Se da el riego de material asfáltico, del tipo y en la cantidad fijados en el proyecto.
- 3o. Se cubre el riego de material asfáltico con una capa del material pétreo que fije proyecto y en la cantidad fijada. Esto se hará con esparcidores mecánicos. Después de esto se pasa una rastra ligera de cepillos de fibra o de raiz, dejando así la superficie exenta de ondulaciones, bordos y depresiones.
- 4o. Se plancha, después, con rodillo liso ligero, para acomodar las partículas del material, y entonces se planchará con un compactador de llantas neumáticas, pasando la rastra las veces que se considere necesario, alternandola con el compactador, hasta que el máximo del material pétreo se adhiera al material asfáltico.
- 5o. Cuando se observe que ya no se adhiere mas material, se recolecta el material sobrante mediante barrido.
- 6o. Cuando se ordene que se hagan dos aplicaciones de material asfáltico, se dejarán transcurrir algunos días después de aplicado el primer riego, para la siguiente aplicación. Para evitar que haya traslape con un riego anterior, como en el caso de las carpetas de riegos, en el punto donde se inicie cada riego se colocarán una o más tiras de papel, protegiendo el riego anterior, de manera que el nuevo riego se empiece desde la protección, y al retirarse esta, quede la aplicación sin traslape.

En el caso de la Vías Terrestres, la Mecánica de Suelos Aplicada, interviene como disciplina de apoyo, en forma muy relevante, puesto que los procesos que han de controlarse están regidos muy principalmente por la Mecánica de Suelos, ella ha de proporcionar los criterios para distinguir lo substancial de lo accesorio, las pruebas de campo o de laboratorio en que se fundamenten los juicios del control, y los límites y tolerancias en que las diferentes acciones del constructor han de mantenerse.

Un aspecto importante en la planeación de un buen programa de control es la definición previa del nivel de calidad requerido en la construcción. En su planteamiento más simple este nivel puede definirse formulando 3 preguntas fundamentales:

- Que se desea.
- Como puede ordenarse y programarse la actividad que conduzca al logro de tal deseo.
- Como determinar que se ha alcanzado lo que se desea.

Otro aspecto importante de todo programa de control de calidad lo constituye el conjunto de pruebas de laboratorio, que proporciona lo que pudiera considerarse la base metodológica y técnica del programa.

Es importante, pues, que el ingeniero se familiarice con los distintos tipos de materiales de que se dispone y su adaptabilidad al uso que se pretenda darles como elementos de un pavimento. Por esto es recomendable conocer los Sistemas de de Clasificación de Suelos, así como los Principios Fundamentales de la Mecánica de Suelos.

Las pruebas de laboratorio que definen la calidad de los materiales, empleados para la construcción de los pavimentos, son las siguientes:

1.- SUELOS FINOS (terraceras y subrasante):

- granulometría.
- límite de plasticidad.
- valor relativo soporte.
- % de expansión en prueba Porter estándar.
- grado de compactación (una vez colocados).

2.- MATERIALES DE SUB-BASE Y BASE:

- granulometría.
- límite de plasticidad.
- contracción lineal.
- peso volumétrico seco suelto.
- peso volumétrico seco máximo.
- humedad óptima

- valor relativo soporte.
- % de expansión en prueba Porter estándar.
- equivalente de arena y afinidad con el asfalto (solo cuando se solicite riego de impregnación).
- peso volumétrico seco del lugar, para conocer su grado de compactación (una vez colocados).

Nota: Cuando se usan materiales estabilizados en estas capas del pavimento, es necesario efectuarles adicionalmente otras pruebas, de acuerdo con el producto que se emplee en la estabilización.

3.- MATERIALES PETREOS (carpetas de mezclas asfálticas):

- granulometría.
- contracción lineal.
- desgaste de los Angeles.
- equivalente de arena.
- forma de las partículas.
- afinidad con los productos asfálticos que vayan a emplearse en la elaboración de la mezcla.
- determinación del contenido óptimo de asfalto.

Nota: Cuando se trata de concretos asfálticos, se utiliza, en la determinación del contenido de asfalto, el procedimiento de prueba Marshal.

4.- MATERIALES ASFALTICOS (según tipos de productos):

A) Cementos Asfálticos:

- penetración.
- viscosidad.
- punto de inflamación.
- punto de reblandecimiento.
- ductibilidad.
- solubilidad en tetracloruro de carbono.
- prueba de la película delgada.

B) Asfaltos Rebajados de Fraguado rápido, medio y lento:

- punto de inflamación.
- viscosidad.
- destilación.
- residuos de la destilación en %.
- contenido de agua por destilación.
- penetración.
- ductilidad.
- solubilidad en tetracloruro de carbono, efectuadas en el residuo de la destilación.

Nota: En asfaltos rebajados de fraguado lento, en vez de penetración se hace, al residuo, la prueba de flotación.

Desarrollo de las Principales Pruebas.

a) Granulometría:

Es la determinación de los tamaños de las partículas que forman el suelo; esto se hace por medio de una sucesión de mallas de abertura cuadrada, colocandolas en forma descendente, es decir, de las aberturas mayores a las menores. Después de pasar el material por las mallas, se pesan las porciones que se quedan retenidas en cada una de ellas. En esa forma se relacionan los retenidos con el peso total de la muestra y se obtienen los porcentajes retenidos en cada malla.

Existen diferentes clasificaciones de las mallas; llegando generalmente hasta la malla No. 200, o sea que se clasifican las partículas hasta un tamaño mínimo de 0.074 mm. Así se pueden obtener los porcentajes de material que pasan por cada una de las mallas y; con estos datos se puede obtener una "curva granulométrica", que es una gráfica que tiene por abscisas, a escala logarítmica, las aberturas de las mallas y por ordenadas los porcentajes de material que pasa por dichas mallas, a escala aritmética o a escala semilogarítmica.

En general se puede decir que la mayor estabilidad de un material se obtiene cuando se reduce al mínimo la cantidad de vacíos y para que esto pueda lograrse es necesario que se tenga una sucesión adecuada de tamaños y esto puede verse en la gráfica granulométrica teniendo suelos bien graduados y mal graduados.

En la fig. C.1 se muestran los resultados de una prueba hecha en el laboratorio.

b) Límites de Atterberg:

Esta prueba se hace con el objeto de determinar la plasticidad de la porción de material que pasa la malla número 40 (0.420 mm).

La plasticidad es la propiedad que tienen algunas partículas, de cambiar su forma, sin agrietarse, cuando se les sujeta a una presión, reteniendo su nueva forma cuando desaparece el esfuerzo aplicado, es decir, el material es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse.

Las partículas que presentan ésta propiedad, generalmente, son las partículas que tienen un diámetro menor de 0.005 mm. y las presentan cuando se encuentran con cierto grado de humedad.

La porción de suelo que pasa por la malla número 40 presenta una consistencia plástica para una humedad comprendida entre dos límites, el límite plástico y el límite líquido y su amplitud es medida por el índice plástico.



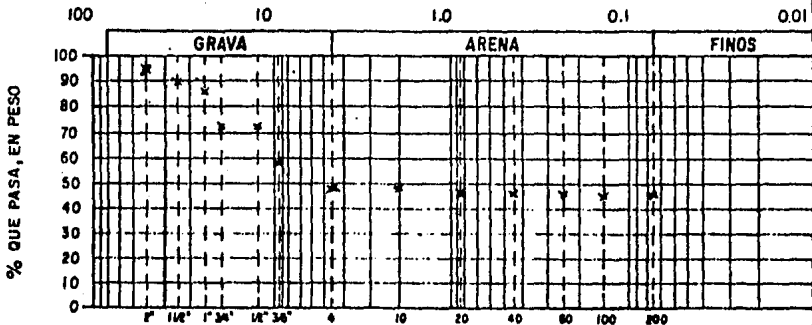
SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS
 DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS TECNICOS
 DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA
 OFICINA DE PRUEBAS FISICAS

GRANULOMETRIA POR MALLAS

OBRA _____					PESO DE LA MUESTRA _____				
LOCALIZACION _____					RECIPIENTE N° _____				
ENSAYE N° _____		SONDEO N° _____			PESO RECIP. ± SUELO HUMEDO (gr.) _____				
MUESTRA N° _____		PROF. _____			PESO RECIP. ± SUELO SECO (gr.) <u>13050</u>				
DESCRIPCION _____					PESO AGUA (gr.) _____				
FECHA _____					PESO RECIPIENTE (gr.) <u>2077</u>				
OPERADOR _____					PESO MUESTRA SECA (gr.) <u>10552</u>				
CALCULO <u>Yo</u>					CONTENIDO DE HUMEDAD(%) _____				

Malla N°	Abertura	Paso suelo retenido			Paso suelo retenido			Malla N°	Abertura	Paso suelo retenido			Paso suelo retenido		
		gr	%	%	gr	%	%			gr	%	%	gr	%	%
2"	50.80	575	5.23	94.77	10	2.000	34.1	0.31	48.69						
1 1/2"	36.10	575	5.23	89.54	20	0.840	30.0	0.27	48.46						
1"	25.40	375	3.59	85.95	40	0.420	25.8	0.27	48.15						
3/4"	19.05	1578	14.35	71.60	60	0.250	16.6	1.15	47.82						
1/2"	12.70	—	—	71.60	100	0.149	15.5	0.18	47.69						
3/8"	9.52	1575	12.51	59.09	200	0.074	20.7	0.19	47.69						
N° 4	4.76	1109	10.09	49.00	PASA 200				47.69						
Pasa N° 4				49.00	SUMA		200.0								
SUMA		10972													

CLASIFICACION SISTEMA UNIFICADO:



DIAMETRO EN mm.

$D_{10} =$ _____ $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} =$ _____ $> 3 =$ 0 %
 $D_{30} =$ _____ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} =$ _____ $G =$ 47.69 %
 $D_{60} =$ 9.52 $S =$ _____ $F =$ 47.69 %

FIG. Q1

CLASIFICACION SUCS: _____
 OBSERVACIONES: _____

Estados de Consistencia y Límites de Plasticidad.

Según su contenido de agua en orden decreciente, un suelo susceptible de ser plástico puede estar en cualquiera de los siguientes estados de consistencia, definidos por Atterberg:

- 1.- Estado líquido.- Con las propiedades y apariencia de una suspensión.
- 2.- Estado semilíquido.- Con las propiedades de un fluido viscoso.
- 3.- Estado Plástico.- En el que, el suelo se comporta plásticamente.
- 4.- Estado Semisólido.- En el que, el suelo tiene la apariencia de un sólido, pero aún disminuye de volumen al estar sujeto a secado.
- 5.- Estado Sólido.- en el que el volumen del suelo no varía con el secado.

Los anteriores estados son fases generales por las que pasa el suelo al irse secando. Atterberg estableció las primeras convenciones para crear sus fronteras bajo el nombre de Límites de Consistencia .

- 1.- Límite Líquido.- Frontera entre los estados Semilíquido y Plástico. Atterberg lo definió en términos de una técnica de laboratorio que consistía en colocar el suelo remodelado en una cápsula, formando en él una ranura, y en hacer cerrar la ranura golpeando secamente la cápsula contra una superficie dura; el suelo tenía el contenido de agua correspondiente al límite líquido, cuando los bordes inferiores de la ranura se tocaban, sin mezclarse, al cabo de un cierto número de golpes.
- 2.- Límite Plástico.- Frontera entre los estados Plásticos y Semisólido. Atterberg rolaba un fragmento de suelo hasta convertirlo en un cilindro de espesor no especificado; el agrietamiento y desmoronamiento del rollito, en un cierto momento, indicaba que se había alcanzado el límite plástico y el contenido de agua en tal momento era la frontera deseada.

A las fronteras anteriores, que definen el intervalo plástico del suelo, se les ha llamado Límites de Plasticidad.

Determinación actual del límite líquido.

Los Métodos de Atterberg se revelaron ambiguos, dado que la influencia del operador es grande y que muchos detalles, al no estar especificados, quedaban a su elección. En vista de lo cual Terzaghi sugirió a Casagrande elaborar una prueba por la determinación del límite líquido de manera que todos obtuvieran los mismos resultados.

Así nació la técnica basada en el uso de la Ceca de Casagrande, que es un recipiente de bronce o latón con un tacón solidario del

mismo material; el tacón y la copa giran en torno a un eje a la base. Una excéntrica hace que la copa caiga periódicamente, golpeándose contra la base del dispositivo, que es de hule duro o micarta 221.

Sobre la copa se coloca el suelo y se procede a hacerle una ranura trapezoidal. Para hacer la ranura debe usarse el ranurador laminar. Así, el LL se define como el contenido de agua del suelo para el que la ranura se cierra a lo largo de 1.27 cm, con 25 golpes en la copa.

Determinación Actual del Límite Plástico.

Se toma una muestra de material preparado, con el cual se forma una pequeña bola de 12 mm. de diám. aproximadamente, la cual se moldea con los dedos, dándole una forma cilíndrica manipulándola sobre la palma de la mano; ya formado el cilindro se coloca en una placa de vidrio, que tiene a los lados unos cinchos de alambre, ahí se continua rodando hasta que alcance un diámetro ligeramente mayor de 3.2 mm (18). Si al alcanzar dicho diámetro el cilindro no se rompe en varias secciones, su humedad es superior a la del límite plástico. Si es así, se levanta el material y se forma nuevamente la bola, manipulándola con los dedos para que pierda humedad, y se repite la misma operación el número de veces necesario hasta que se rompa. Se toman todos los fragmentos y se determina la humedad.

La humedad correspondiente al límite plástico se calcula con la formula:

$$WP = \frac{P1 - P2}{P2 - Pt} \times 100$$

en donde:

- Wp = humedad en el límite plástico.
- P1 = peso de la muestra húmeda más el peso del recipiente.
- P2 = Peso de la muestra seca más peso del recipiente.
- Pt = Peso del recipiente.

Los suelos que no pueden formar cilindros del diámetro especificado, con ningún contenido de humedad, se consideran como no plásticos.

El Índice Plástico es una medida de la amplitud de la consistencia plástica del suelo. Mientras mayor sea, mayor será la variación de humedades para las cuales el suelo presenta una consistencia plástica. Su determinación queda expresada por la diferencia aritmética entre el límite líquido y el límite plástico de dicho suelo.

$$IP = WL - WP$$

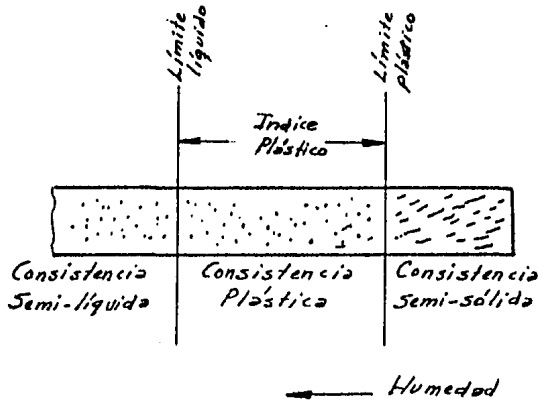


Fig. C.2

En la fig. C.3 se ven los resultados en una prueba de laboratorio.

c) Contracción Lineal.

Es la reducción del volumen de un suelo, medida en una de sus dimensiones y expresada como porcentaje de la dimensión original, cuando la humedad se reduce desde la correspondiente al límite líquido hasta la del límite de contracción.

El límite de contracción es la frontera entre los estados de consistencia semisólido y sólido, definido con el contenido de agua con el que el suelo ya no disminuye su volumen al seguirse secando. Este límite se manifiesta visualmente por un característico cambio de tono oscuro a más claro, que el suelo presenta en su proximidad, al irse secando gradualmente. Atterberg lo determinaba efectuando mediciones durante el proceso de contracción. El límite de contracción corresponde al contenido de agua para el cual el suelo alcanza su máxima contracción.

Para la determinación de la contracción lineal se utiliza el material sobrante de la prueba del límite líquido, inmediatamente después de terminada esta última prueba, o bien, preparar otra muestra, con la humedad del límite líquido. Con este material se llena un molde de lamina galvanizada (10 X 2 X 2 cm), previamente engrasado. El llenado se hace en tres capas y golpeando en cada ocasión al molde contra una superficie dura, esto se hace hasta lograr la expulsión casi total del aire. Al final, se engrasa el material en el molde con una espátula. Se deja secar la barra al aire, hasta que su color cambie de oscuro a claro y después se pone

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
 DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS TECNICOS
 DIRECCION DE ESTUDIOS
 SUBDIRECCION DE LABORATORIOS
 DEPARTAMENTO DE ENSAYE DE MATERIALES

(5)

LIMITES DE PLASTICIDAD Y HUMEDAD NATURAL

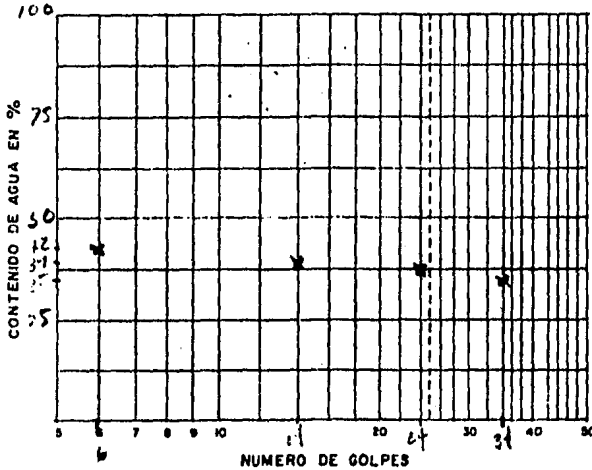
OBRA: _____ LOCALIZACION: _____ SONDEO N°: _____ ENSAYE N°: _____ MUESTRA N°: _____ PROF.: _____ DESCRIPCION: _____	FECHA: _____ OPERADOR: _____ CALCULO: <u>10</u> _____ _____
---	---

LIMITE LIQUIDO

PRUEBA N°	CAPSULA N°	NUMERO DE GOLPES	PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO		PESO CAPSULA + SUELO SECO		PESO DEL AGUA		PESO DE LA CAPSULA		PESO DEL SUELO SECO		CONTENIDO DE AGUA (W)	
			gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	%	%
	28	34	—	55	45.582	43.054	2.332	31.432	6.622	35.22				
	29	24	—	20	39.469	37.180	2.278	30.967	6.213	36.67				
	39	14	—	15	39.030	36.636	2.394	30.420	6.156	38.87				
	30	6	—	7	39.648	36.895	2.803	30.211	6.634	42.25				

LIMITE PLASTICO

HUMEDAD NATURAL



W = _____ %

LL = _____ %

LP = _____ %

$I_p = \frac{LL - LP}{LP} =$ _____ %

$C_R = \frac{LL - W}{I_p} =$ _____

$F_w =$ _____ %

$T_w = \frac{I_p}{F_w} =$ _____

CLASIF. SUCS.: _____

FIG. C.3

OBSERVACIONES: _____

a secar en el horno 18 hrs aproximadamente. Finalmente con un calibrador, se mide la longitud de la barra de material seco y la longitud interior del molde.

Así la contracción lineal se calcula con la siguiente fórmula:

$$C.L. = \frac{(L1 - L2)}{L} \times 100$$

en la cual:

C.L. = % de contracción lineal c\resp a la longitud original de la barra de suelo húmedo.

L1 = longitud del molde o sea, de la barra de suelo húmedo.

L2 = longitud de la barra de suelo seco.

d) Prueba de los Angeles.

Esta prueba se hace para medir el desgaste de los agregados y se realiza en un Máquina de abrasión llamada de los Angeles. El procedimiento es el siguiente:

La muestra de material debe lavarse, para eliminar el polvo adherido a las partículas; después se seca la muestra en un horno hasta que tenga un peso constante. En seguida se criba a través de un juego de mallas, con aberturas especificadas, y se forma una granulometría como la indicada en la tabla C.1, seleccionando aquella que más se asemeje a la graduación propuesta para la carpeta asfáltica. La tabla C.1 muestra la cantidad de material y sus tamaños respectivos que deberán utilizarse para la prueba, así como la carga abrasiva y el número de revoluciones que deberán darse a la máquina.

TIPO	T A M A Ñ O	Cantidad en gr. de la muestra	CARGA ABRASIVA		No. de Revoluciones
			No. de Esferas	Peso en gr.	
A	De 38.1 mm. (1½") a 25.4 mm. (1").....	1 250	12	5 000 ± 25	500
	De 25.4 mm. (1") a 19.05 mm. (¾").....	1 250			
	De 19.05 mm. (¾") a 12.7 mm. (½").....	1 250			
	De 12.7 mm. (½") a 9.52 mm. (¾").....	1 250			
B	De 19.05 mm. (¾") a 12.7 mm. (½").....	2 500	11	4 584 ± 25	500
	De 12.7 mm. (½") a 9.52 mm. (¾").....	2 500			
C	De 9.52 mm. (¾") a Núm. 3.....	2 500	8	3 330 ± 20	500
	De Núm. 3 a Núm. 4.....	2 500			
D	De Núm. 4 a Núm. 8.....	5 000	6	2 500 ± 15	500
E	De 76.2 mm. (3") a 63.5 mm. (2½").....	2 500	12	5 000 ± 25	1 000
	De 63.5 mm. (2½") a 50.8 mm. (2").....	2 500			
	De 50.8 mm. (2") a 38.1 mm. (1½").....	5 000			
F	De 50.8 mm. (2") a 38.1 mm. 1½").....	5 000	12	5 000 ± 25	1 000
	De 38.1 mm. (1½") a 25.4 mm. (1").....	5 000			
G	De 38.1 mm. (1½") a 25.4 mm. (1").....	5 000	12	5 000 ± 25	1 000
	De 25.4 mm. (1") a 19.05 mm. (¾").....	5 000			

Tabla C.1

La muestra seleccionada, que ha sido pesada previamente, P_i, se colocará junto con las esferas de la máquina, la cual se hará girar hasta completar el número de revoluciones especificado. Se secará la muestra de la máquina y se lavará a través de la malla No. 12. El retenido sobre la malla se secará en el horno y se pesará, obteniéndose así el peso P_f. Entonces, la pérdida por desgaste se determinará por medio de la siguiente fórmula:

$$X \text{ Desgaste} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

e) Valor Cementante.

Esta prueba determina el poder de cimentación de un suelo fino o de la fracción que pasa la malla No. 4 de un suelo granular compactado y seco.

El valor cementante es una función de la forma y acomodo de las partículas de suelo y de su rugosidad, de la plasticidad de los finos, y de otros factores que tienen relación con la composición química del suelo. Además es importante, para preveer el comportamiento de los suelos que formen el pavimento. Es deseable que estos suelos tengan un cierto valor cementante. El procedimiento de la prueba es el siguiente:

El material se prepara y se pasa por la malla No. 4, para obtener una muestra de unos 3 kg; se le adiciona agua hasta alcanzar la humedad óptima de compactación y se manipula hasta lograr una repartición uniforme de la misma. Se forman muestras para hacer la prueba en tres especímenes.

Se compacta el material en tres capas, formando un cubo, se le dan 15 golpes de varilla en cada capa, a una altura de 50 cm. Se pone el molde con el material compactado en el horno a 40° C y se mantiene hasta que se pierda suficiente humedad para permitir la remoción del molde; se continua el secado de 100 a 110° C, hasta que se pierda toda la humedad. Se saca el espécimen del horno y se deja enfriar; se prueba a la compresión y se obtiene el valor cementante, que es el promedio de la resistencia a la compresión en kg/cm² de los tres especímenes probados. Si uno de los tres valores difiere mucho de los otros dos, se desecha para los cálculos.

En un Programa de Control de Calidad es importante el criterio con el que habrá de manejarse la información, la cual deberá estar dispuesta para uso futuro y ser difundida en todos los niveles, para la formación de la experiencia institucional y para la planeación de futuros trabajos de mantenimiento y reconstrucción.

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

Apuntes del Curso: "Diseño y Construcción de Pavimentos I"
División de Educación Continua
Facultad de Ingeniería UNAM 1984.

La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres Volumen 2
Alfonso Rico y Hermilo del Castillo
Editorial Limusa, México 1978.

Normas para Construcción e Instalaciones en Carreteras y
Autopistas: Terracerías
S.C.T. 1984.

Normas para Construcción e Instalaciones en Carreteras y
Autopistas: Pavimentos
S.C.T. 1984.

Normas de Construcción, Tomos VIII y IX
S.C.T. 1981.

Tecnología para el Proyecto de Pavimentos Flexibles
Fernando Olivera Bustamante
E.N.E.P. Aragón México 1981.

Ingeniería de Carreteras
Clarkson H. Oglesby & Laurence I. Hewes.

Generalidades y Terminología
S.A.H.O.P. 1982.

Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras
S.A.H.O.P.