

55
2.9.85



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Ingeniería

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO
DE PAVIMENTOS FLEXIBLES**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :
I N G E N I E R O C I V I L
P R E S E N T A N :

GERARDO JAVIER GAMBOA ORTIZ

México, D. F.

1985



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DISEÑO, CONSTRUCCION Y MANTENIMIENTO
DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES

CAPITULO	I.	INTRODUCCION - - - - -	1
CAPITULO	II.	FUNCIONES DE LAS DISTINTAS CAPAS	
		2.1 Terracerias - - - - -	8
		2.2 Subrasante - - - - -	14
		2.3 Sub-Base - - - - -	14
		2.4 Base - - - - -	16
		2.5 Carpeta - - - - -	18
CAPITULO	III.	MATERIALES UTILIZADOS EN LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES	
		3.1 Materiales Pétreos - - - - -	20
		3.1.1 Fuentes de Abastecimiento - -	21
		3.1.2 Procedimientos de Exploración y tipos de Estudios que se e- fectúan - - - - -	22
		3.1.3 Bancos de Materiales - - - - -	24
		3.1.4 Clasificación - - - - -	25
		3.1.5 Procedimientos y Equipos para el Tratamiento de los materia- les- - - - -	38
		3.1.6 Materiales Pétreos en Diferen- tes Elementos del Pavimento- -	57

3.2 El Asfalto - - - - -	60
3.2.1 Descripción - - - - -	60
3.2.2 Tipos de Asfalto - - - - -	62
3.2.3 Propiedades de los Materiales Asfálticos - - - - -	65

CAPITULO IV. DISEÑO

4.1 Factores que Intervienen en el Dise- ño - - - - -	76
4.1.1 Clima - - - - -	78
4.1.2 Materiales en Terraceria y Su- brasante - - - - -	79
4.1.3 Tránsito - - - - -	79
4.1.4 Carga Equivalente- - - - -	80
4.1.5 Calificación Actual - - - - -	84
4.1.6 Velocidad de Aplicación y Re- petición de Cargas - - - - -	85
4.2 Métodos de Diseño- - - - -	86
4.2.1 Clasificación- - - - -	86
4.2.2 Método del VRS - - - - -	89
4.2.3 Método del Instituto del Asfal- to de E.U.A. - - - - -	96

ANEXO IV-A	PRUEBA DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE (VRS) - - - - -	103
------------	---	-----

ANEXO IV-B	SECCIONES TÍPICAS - - - - -	112
------------	-----------------------------	-----

CAPITULO V.	CONSTRUCCION	
	5.1 Terraplenes - - - - -	115
	5.2 Bases y Sub-bases - - - - -	118
	5.3 Carpetas Asfálticas - - - - -	124
	5.3.1 Especificaciones de los Mate- riales Pétreos para carpetas Asfálticas - - - - -	125
	5.3.2 Tratamientos Superficiales -	130
	5.3.3 Mezcla en el Lugar - - - - -	133
	5.3.4 Concreto Asfáltico- - - - -	135
	5.4 Tratamientos Adicionales - - - - -	140
	5.4.1 Riego de Impregnación - - - -	142
	5.4.2 Riego de Liga - - - - -	142
	5.4.3 Riego de Sello- - - - -	143
CAPITULO VI.	CONSERVACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES- -	146
	6.1 Conservación Preventiva - - - - -	148
	6.2 Conservación Correctiva - - - - -	149
	6.3 Fallas Comunes y Recomendaciones pa ra su corrección - - - - -	154
CAPITULO VII.	CONCLUSIONES - - - - -	168

C A P I T U L O I

I INTRODUCCION.

El verdadero auge del pavimento, en el sentido actual, ha tenido lugar con la aparición del automóvil, en primer lugar y más recientemente, con el advenimiento de la aviación en la escala en que hoy se conoce.

A medida que los vehículos evolucionaron en peso, velocidad, comodidad y autonomía, se fue creando la necesidad de proporcionarles una pista de circulación -- con unas condiciones de curvatura, pendiente, visibilidad, sección transversal, uniformidad, textura, etc., -- apropiadas a una demanda de operación cada vez más -- exigente.

Las ideas anteriores condujeron a la construcción de terracerías y condicionaron su evolución. Obviamente la superficie de las terracerías debería ofrecer -- condiciones de rodamiento apropiadas y confortables al volumen creciente de vehículos cada vez más rápidos y pesados. Por razones económicas que saltan a la vista, en la construcción de las terracerías se impone el empleo --

de los materiales inmediatos a ellas; esto llevó desde un principio a la utilización de suelos y fragmentos-- de roca.

Los materiales naturales, utilizados como tales, pueden proporcionar condiciones adecuadas de operación durante un cierto tiempo, pero no se ha logrado hasta hoy, dar a tales condiciones la debida permanencia - - cuando los volúmenes de tránsito excedan de los mínimos a considerar.

Cuando el tránsito empieza a tener importancia, se hace imperativo proporcionar una superficie de rodamiento que cumpla los siguientes requisitos:

- Ser estable ante los agentes del intemperismo.
- Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.
- Tener textura apropiada al rodamiento.
- Ser durable.
- Tener condiciones adecuadas en lo referente a permeabilidad.

- ser económica.

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

La superficie de rodamiento se logra mediante una - - carpeta relativamente delgada, de alto costo y alta calidad; pero entre ella y las terracerías se interpone un sistema de varias capas de materiales seleccionados, cuya calidad por lo común, va disminuyendo con la profundidad.

En síntesis se puede definir a un pavimento como la capa o conjunto de capas de materiales apropiados, comprendidos entre el nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento, cuyas principales funciones son las de proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, de color y textura apropiados, resistente

a la acción del tránsito, a la del intemperismo y a - -
otros agentes perjudiciales, así como transmitir adecuadamente a las terracerías los esfuerzos producidos por las cargas impuestas por el tránsito.

En otras palabras, el pavimento es la superestructura de la obra vial, que hace posible el tránsito expedito de los vehículos con la comodidad y economía previstas por el proyecto.

En lo que respecta a los tipos de pavimentos que se conocen en la actualidad, generalmente estos se clasifican por la forma en que distribuyen a la subrasante la carga recibida.

Unos, los hechos de varias capas de suelo y una carpeta asfáltica superficial, que distribuyen la carga recibida a través del espesor de esas capas hasta dejar a la subrasante una pequeña carga de acuerdo a su capacidad soportante, se les llama Pavimentos Flexibles. - - -
(Fig. 1.1)

Los otros serán entonces Pavimentos rígidos (Fig. 1.2), los cuales están compuestos por una losa de concreto, muy rígida y resistente, que tiende a absorber -

TIPOS DE PAVIMENTOS MAS USUALES

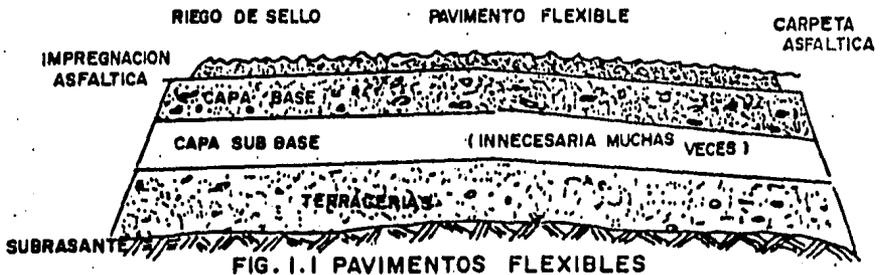


FIG. 1.1 PAVIMENTOS FLEXIBLES

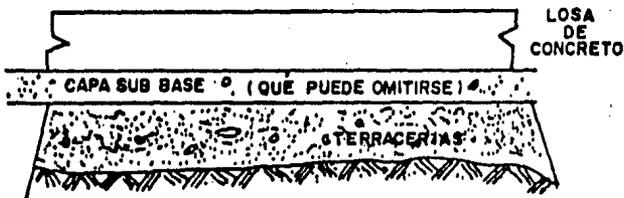


FIG. 1.2 PAVIMENTOS RIGIDOS

la carga recibida repartiendola en una muy amplia área de la subrasante. Este tipo de pavimentos no será incluido en este trabajo debido a su poca aplicación en nuestro país en comparación con los Flexibles.

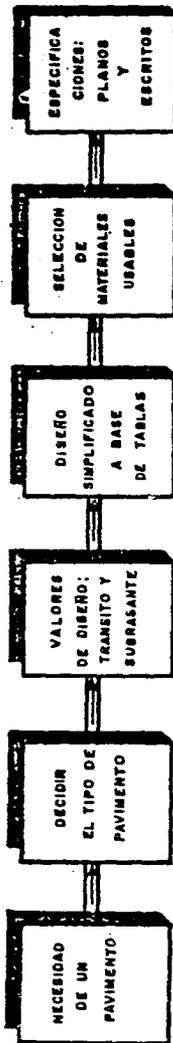
Los Pavimentos Flexibles, como cualquier estructura se diseñan, construyen y conservan a través de un proceso respectivo que juntos integran un ciclo de continuo mejoramiento.

En la Fig. 1.3, se presenta el ciclo de diseño de un pavimento.

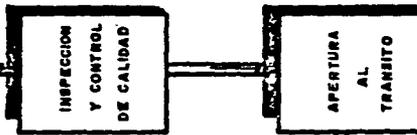
El presente trabajo contempla en forma general las diferentes etapas de dicho proceso, tomando en consideración en primera instancia, las recomendaciones hechas para su aplicación en nuestro país.

Por otra parte, se menciona también los principales materiales utilizados, determinando la importancia que cada uno tiene en su aplicación en los pavimentos.

PROCESO DE DISEÑO

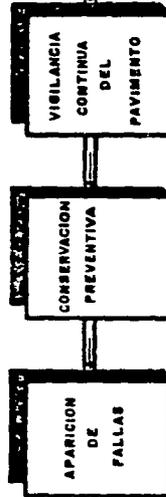


CONSTRUCCION



CICLO DE DISEÑO SIMPLIFICADO DE UN PAVIMENTO

EVALUACION Y RENOVACION



CONSERVACION

C A P I T U L O I I

II.- FUNCIONES DE LAS DISTINTAS CAPAS.

Probablemente ha de reconocerse que algunas de las dificultades con que hoy se enfrenta el ingeniero al tratar de resolver el problema del dimensionamiento de pavimentos, es debido a los enfoques que ha sido capaz de desarrollar hasta el momento, enfoques -- que seguramente será conveniente cambiar en el futuro próximo.

En primer lugar, parece fuera de duda que el comportamiento estructural de una carretera no puede circunscribirse a unos cuantos centímetros superiores o a unas cuantas capas situadas sobre las demás. Evidentemente ese comportamiento estructural se fragua en toda la sección, contando desde el terreno de cimentación a la carpeta; es posible que de las fallas observadas en pavimentos, hayan ocurrido tantas por mala terracerías como por mala base y que las condiciones de terreno de cimentación puedan ser determinadas en muchos casos. Por ello es importante considerar las funciones de cada una de las capas que intervienen en la estructuración de un pavimento.

En la actualidad se puede decir que no existe una terminología única para designar las diferentes partes que forman un pavimento. Sin embargo comúnmente un pavimento, en su forma más completa se construye de varias capas, teniendo cada una de ellas su función específica, (Fig. 2.1). Podemos entonces distinguir las siguientes capas:

- 1.- Terraplén
- 2.- Subrasante
- 3.- Sub-Base
- 4.- Base
- 5.- Carpeta

2.1 Terraplén (Terracerías)

Hoy, el terreno de cimentación y la terracería se tratan con bastante independencia del requerimiento estructural que de ellos ha de hacerse más tarde, de manera que todos los parámetros que definen dicho comportamiento estructural quedan sin ser controlados; no es pues extraño que en el momento en que se solicita una respuesta estructural cualquiera, dicha respuesta sea impredecible. Se considera metodológicamente hablando, que la responsabilidad de la respuesta estructural de la sección está únicamente en las

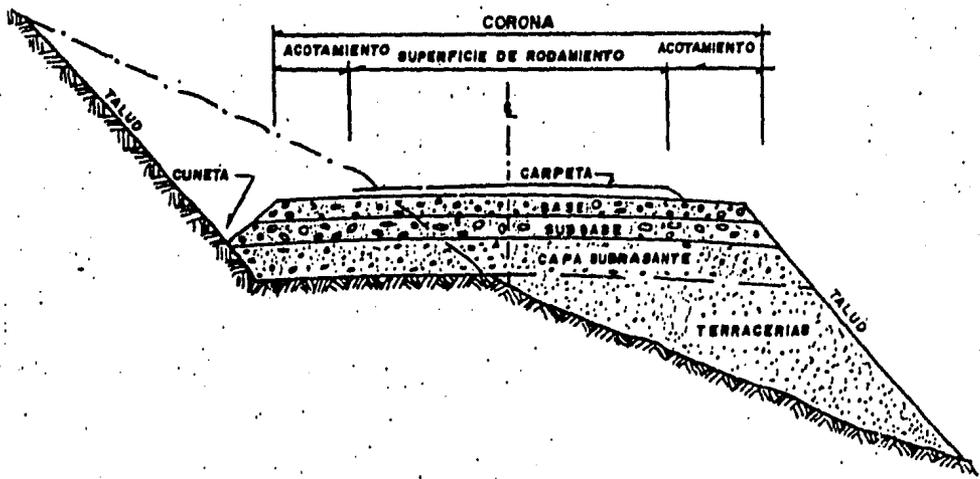


FIGURA 2.1 SECCION TRANSVERSAL TIPICA DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE EN UNA SECCION EN BALCON.

capas sub-base, base y carpeta, concediéndole poca importancia al terraplén; sin embargo es fundamental y urgente, como un primer requisito para aspirar a una buena tecnología de carreteras, eliminar la dualidad, terracería-pavimento, sustituyéndola por el concepto monolítico de sección estructural de la carretera. Dicha sección ha de estudiarse sin distinciones conceptuales dentro de ella, analizando todas sus componentes y adecuándolas a las exigencias, de manera que la sección resista en cada nivel lo necesario; el colapso de la sección ocurrirá antes del tiempo de vida útil contemplado, solo si una parte de la sección estructural no cumple su compromiso con el conjunto.

Se puede distinguir como una de las principales funciones de las terracerías, la de otorgar una superficie lo más uniforme posible, para la sustentación de las capas subsecuentes a ésta.

Un terraplén es una construcción de material térrico tomado de otro sitio, por tanto es una obra artificial que tiene una altura relativamente pequeña en comparación con sus otras dimensiones.

Los términos "terraplén" y "relleno", suelen emplearse indistintamente y lo mismo ocurre con corte y zanja. Una zanja corriente se refiere a una excavación para un camino.

La pendiente de los lados se expresa por la relación de la base horizontal a la altura vertical. Una relación corriente en terraplenes de tierra pequeños es 1 1/2:1; en zanjas poco profundas 1 1/4:1.

Todos los Terraplenes modernos se construyen (o al menos deberían construirse) de materiales inteligentemente seleccionados con compactación apropiada. Si se hace así, no habrá fallas en el interior del terraplén y todas las deformaciones, incluyendo el asentamiento o reajuste del material, generalmente aparecerán durante la construcción o muy poco después. En lo que toca a las deformaciones en terraplenes, podemos distinguir dos clases: "consolidación" se refiere al reajuste, y a la compresión subsiguiente del suelo en el propio terraplén; "asentamiento", es un reajuste similar en sus cimientos.

Si el Ingeniero no toma en cuenta los asentamientos podría suponer equivocadamente que con el material abundado de un corte puede construir un terraplén que tenga ese volúmen de proyecto. En la generalidad de los casos puede decirse que el material ya puesto en el terraplén no vuelve a comprimirse hasta tener el mismo volúmen que en el corte; pero sí puede considerarse como regla general que se comprime y que en algunos casos, empleando compactación mecánica, puede llegarse hasta tener menos volúmen que el que tenía originalmente en el corte.

Los materiales de graduación uniforme son los que con el tiempo suelen producir los mayores asentamientos; en cambio aquellos materiales compuestos de partículas de distinto tamaño de manera que -- las más chicas van llenando los huecos de las mayores, son los que menos asentamientos producen y se construyen por capas, con la humedad óptima y se consolidan debidamente, dan terraplenes prácticamente libres de asentamientos posteriores.

2.2 Subrasante.

Es necesario considerar en primer término que las características de la capa subrasante son casi siempre determinantes del comportamiento del pavimento en general. Las funciones que deben tomarse en cuenta de esta capa consiste esencialmente en su resistencia a los esfuerzos, facilidad en la compactación, drenaje y su permanencia a través del tiempo con estas características.

Se requiere que los materiales que formen la capa subrasante tengan un control de selección más exigente a fin de asegurar una capa adecuada en todos los conceptos. El espesor del pavimento depende en parte del tipo de suelo que compone la capa subrasante. En esta forma el Ingeniero toma en cuenta la resistencia potencial de esta capa en la determinación de tipo y espesor del pavimento que requiere para soportar las cargas impuestas por los vehículos.

2.3 Sub-base

La Sub-base es la capa de material que se construye

sobre la subrasante y que generalmente está formada por un material de mejor calidad que el de aquella, obtenida en la mayoría de los casos de depósitos cercanos a la obra.

La sub-base tiene como funciones principales las siguientes:

- a) Reducir el costo del pavimento, disminuyendo el espesor de la base, la cual se construye con materiales de mayor costo por tener que cumplir con especificaciones más rígidas.
- b) Proteger a la base aislándola de la subrasante ya que cuando ésta está formada por material fino y plástico (generalmente es el caso) y cuando la base es de textura abierta, de no existir el aislamiento dado por el material de sub-base el material de la terracería se introduciría en base pudiendo provocar cambios volumétricos perjudiciales al variar las condiciones de humedad a la vez que se disminuiría la resistencia estructural de la base. El aislamiento producido por la sub-base no solo consiste en evitar que los finos plásticos de la terracería se introduzcan en la base de textura abierta sino también en evitar los bufamientos y revoltura de

ambos materiales cuando se usan piedras trituradas o gravas de rio para formar la base.

2.4 Base.

Hasta cierto punto existe en la base una función económica análoga a la discutida para el caso de la sub-base, pues permite reducir el espesor de la carpeta que resulta más costosa.

Los principales requisitos que debe satisfacer son los siguientes:

- a) Tener en todo tiempo la resistencia estructural para soportar las presiones que le sean transmitidas por los vehículos estacionados o en movimiento.
- b) Tener el espesor necesario para que dichas presiones al ser transmitidas a la sub-base o a la subrasante, no excedan la resistencia estructural de éstas.
- c) No presentar cambios volumétricos perjudiciales al variar las condiciones de humedad.
- d) La base en muchos casos debe también drenar-

el agua que se introduzca a través de la carpeta o por los acotamientos del pavimento, así como impedir la ascensión capilar.

La base se debe construir con material de buena calidad para que llene su cometido de evitar la falla que resulta de las altas concentraciones de esfuerzos desarrollados debajo de la carpeta.

Si se opta por mezclas de suelos para las bases, debe procurarse que estén bien graduados y que contengan solamente la suficiente cantidad de finos para su estabilización; además deberán compactarse con pesos volumétricos relativamente altos.

Los requisitos de humedad y peso volumétrico para bases pueden ser determinados a partir de los resultados de las pruebas de laboratorio que se hacen para este objeto. Los requisitos de espesor se determinan tomando como base las pruebas de resistencia.

Los materiales para bases extraídos de bancos naturales, compuestos por agregados locales, pueden ser mejorados empleando algún agente estabilizan-

te tal como el asfalto, cemento, alquitrán y materiales calizos. El tipo y la cantidad del estabilizante deben ser seleccionados de acuerdo con el factor económico y solamente después de hacer una investigación extensiva en el laboratorio.

2.5 Carpeta Asfáltica.

La carpeta asfáltica es la capa de material pétreo cementado con asfalto que se coloca sobre la base para satisfacer las funciones siguientes:

- a) Proporcionar una superficie de rodamiento adecuada que permita, en todo tiempo, un tránsito fácil y comodo de los vehículos.
- b) Restringir la infiltración del agua de lluvia hacia las capas inferiores para impedir que el agua disminuya su capacidad para soportar cargas.
- c) Resistir la acción destructora de los vehículos y de los agentes climatéricos.

Debe tener un color que evite reflejos del sol o

de luces artificiales. La exposición directa a las cargas del tránsito y la indeformabilidad necesaria para el buen servicio, implican que la carpeta esté formada con material que ofrezca suficiente resistencia bajo condiciones de presión normal; se requiere entonces un material que posea "cohesión" y es precisamente el producto asfáltico que liga los agregados pétreos el que la proporciona.

III.- MATERIALES UTILIZADOS EN LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Podemos distinguir claramente en dos grupos los materiales utilizados en los Pavimentos Flexibles:

- Materiales pétreos.
- Ligantes asfálticos.

Cada uno de ellos guarda una diferente pero importante función en la vida útil del pavimento, por lo tanto se hace indispensable mencionar las principales características de cada uno de ellos así como su clasificación y propiedades.

3.1 Materiales Pétreos.

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

Aunque la buena estructuración de los pavimen-

tos guarda también estrecha relación con otros factores no menos importantes, tales como el empleo de ligantes asfálticos o hidráulicos los procedimientos de construcción que se apliquen, etc., la consecución con éxito del objetivo citado, depende en buena parte de que los materiales pétreos utilizados se seleccionen y procesen siempre, en forma congruente con el uso a que se les debe destinar, a fin de lograr en ellos, al menor costo posible la calidad que se requiera en cada caso, para resistir adecuadamente los efectos impuestos por el tránsito y el medio ambiente.

3.1.1 Fuentes de Abastecimiento

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, efectuar recorridos en helicoptero, vehículo, lancha, caballo, o a pie, según sea el caso; durante el recorrido se corregirá y complementará el plano si fuera necesario.

Los aspectos básicos que deben considerarse para seleccionar los bancos, entre otros son los siguientes: calidad, accesibilidad, facilidad de explotación, volumen disponible, tratamiento y costos.

3.1.2 Procedimientos de Exploración y Tipos de Estudios que se efectúan.

Según la topografía de la región, tipo de vegetación, extensión del área por explorar, vías de acceso existente y demás características, será el procedimiento de exploración a efectuar.

- a) Estudios Preliminares.- Después de llevar un croquis de el área probable del banco, se señalarán sus dimensiones apropiadas, incluyendose en el mismo un esquema con su ubicación en relación con el camino o la obra donde se empleará. Se realizarán algunos sondeos que por lo general se hacen a cielo abierto, anotando el espesor de la capa de despalle y su tipo de material, la estratigrafía de los materiales aprovechables encontrados indicando sus características, dureza o dificultad de ataque, humedad natural, nivel de aguas freáticas, si se llega a encontrar y todas

las observaciones de campo que se consideren -
necesarias. A todas las muestras se les efec-
tuarán ensayos completos de calidad y de acuer-
do con los resultados que se obtengan, se po-
drá juzgar si se puede pasar al estudio defini-
tivo o bien, por la calidad resultante de los-
materiales se elimina el banco o se amplía el-
estudio hacia alguna otra zona.

b) Estudios Definitivos.- El croquis del banco de-
berá realizarse con mayor precisión midiendo -
con exactitud sus dimensiones y estacandolo pa-
ra delimitar la zona de los materiales prove-
chables. En el estudio definitivo es conve-
niente distribuir los sondeos a cielo abierto-
de tal manera que la distancia entre vértices-
adyacentes sea de 20 a 100 M., según la unifor-
midad, tipo de materiales y espesor aprovecha-
ble. Desde luego que estos sondeos serán más-
completos y en mayor cantidad que los realiza-
dos en los preliminares.

A todas las muestras extraídas se les efectuarán-
todos los ensayos, el tratamiento aplicado en el-
laboratorio para obtener el material trabajable -

(disgregado, cribado, triturado, parcial o total, lavado, etc.), el volúmen de material disponible, ubicación, se estará en posibilidad de recomendar el banco y su utilización, según las especificaciones que cumpla.

3.1.3 Bancos de Materiales.

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

- a) Playones de rios.- Estan formados por la sedimentación de los materiales que arrastran los rios desde su nacimiento; a través de su recorrido se van depositando los materiales arrastrados, quedando los boleos en las zonas de pendiente fuerte de el cause, en otras donde la pendiente de el canal es menor, se depositan materiales finos
- b) Depósitos.- Estan formados por materiales que llenaron algunas depresiones del terreno natural pueden estar compuestos por fragmentos de roca, grava, arena, limos, arcilla, cenizas volcánicas

c) Mantos de Roca.- Las rocas que constituyen los referidos bancos, pueden ser de origen igneo, sedimentario o metamórfico.

- Rocas Igneas: basalto, riolita, andresita, granito, grabo, tobas.

- Rocas Sedimentarias: calizas, areniscas, conglomerados, brechas.

- Rocas Metamórficas: mármol, cuarcito, pizarra, y gneiss.

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 se ha cementado con materiales acarreados.

e) Aglomerados.- Son formaciones de mezclas heterogéneas poco o nada cementadas, de gravas, arenas limos y arcillas, de origen sedimentario.

3.1.4 Clasificación.

Dada la complejidad y prácticamente la infinita va-

riedad con que los suelos se presentan en la naturaleza, cualquier intento de sistematización científica, debe ir precedido por otro de clasificación completa. Primeramente, dado el escaso conocimiento que sobre los suelos se tenía, fundandose en criterios puramente descriptivos; nacieron varios sistemas, de los cuales los basados en las características granulométricas, ganaron popularidad rápidamente.

Para agrupar los suelos con mayor propiedad, se han propuesto varias clasificaciones:

- En carreteras se usa la clasificación AASHTO.
- En aeropuertos la clasificación de la F.A.A.
- La SAHOP, usa para muchos fines una modificación de la SUCS.

a) Clasificación AASHTO.

Esta importante asociación norteamericana dedicada a las carreteras y transportes, revisó y adoptó la antigua clasificación de suelos de la PUBLIC ROADS ADMINISTRATION (USA) y desde entonces se usa mucho en carreteras en todo el mundo.
(Tabla 3.1)

TABLA 3.1 CLASIFICACION DE SUELOS POR EL SISTEMA

AASHTO

CLASIFICACION GENERAL	MATERIALES GRANULARES (35% o menos pasa la malla Núm. 200)						MATERIALES FINOS (más del 35% pasa la malla No.200)				
	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7	
CLASIFICACION POR GRUPO	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7			A-7-5	A-7-6
Granulometría % más - fino :											
Malla Núm. 10	50 máx	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
" " 40	30 máx	50 máx	51 min	---	---	---	---	---	---	---	---
" " 200	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx	36 min	36 min	36 min	36 min
Características del material menor que Núm. 40 : Límite líquido, índice de plasticidad	6 máx		NP	40 máx 10 máx	41 min 10 máx	40 máx 11 min	41 min 11 min	40 máx 10 máx	41 min 10 máx	40 máx 11 min	41 min 11 min
INDICE DE GRUPO	0		0	0		4 máx		8 máx	12 máx	16 máx	20 máx
Tipos comunes de los materiales constituyentes principales	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas			Suelos Limosos		Suelos arcillosos.		
Apreciación general como subrasante	De excelente a bueno						De regular a pobre				

En ella, los suelos se dividen en dos grandes grupos; los suelos granulares, con el 35% o menos pasando la malla núm. 200 y los suelos limo-arcillosos, con más del 35% pasando la malla núm. 200.

Para cada suelo se calcula su índice de grupo, usando la siguiente ecuación:

$$I.G. = 0.2a + 0.005 ac + 0.01 bd$$

Donde:

I.G. Índice de Grupo.

a= Aquella porción del porcentaje que pasa la malla núm. 200, mayor del 35% y no excediéndose del 75%, expresado como un número entero (0 a 40).

b= Aquella porción del porcentaje que pasa la malla núm. 200, mayor del 15% y no excediéndose del 55%, expresado como un número entero (0 a 40).

c= Aquella porción del valor del límite líquido, mayor del 40% y menor del 60% (0 a 20).

d= Aquella porción del valor numérico del índice de

plasticidad mayor del 10% y no excediéndose del-
30% (0 a 20).

El Índice de grupo es útil para diferenciar suelos de un mismo grupo, colocándose su valor entre paréntesis. Así, un suelo A-4-(8) es diferente a un -- suelo A-4-(0).

b) Sistema de Clasificación de Aeropuertos.

A pesar de que este sistema ha sido ligeramente-
modificado para constituir el Sistema Unificado-
de Clasificación de Suelos ampliamente usado en-
la actualidad en el mundo, conviene mencionar --
los criterios en que esta basado.

El sistema divide a los suelos en dos grandes --
fracciones: la gruesa, formada por partículas ma-
yores que la malla núm 200 (0.074 mm) y menores-
que la malla de 3" (7.62 cm) y la fina, formada-
por las partículas que pasan la malla núm. 200.

La fracción gruesa se subdivide en gravas y are-
nas, teniendo como frontera la malla núm. 4 - --
(4.76 mm). Subdivisiones subsecuentes de esta --

fracción toman en cuenta el contenido y naturaleza de los finos, así como características de graduación.

La fracción fina se subdivide en grupos, tomando en cuenta sus características de plasticidad, las cuales están relacionadas con las propiedades mecánicas e hidráulicas, que interesan al Ingeniero Civil. Las propiedades mecánicas e hidráulicas - más importantes de las que el ingeniero precisa tener datos, primero cualitativa y después cuantitativamente son: características de esfuerzo-deformación y resistencia, comprensibilidad, permeabilidad, velocidad de variación volumétrica, etc.

c). Clasificación SAHOP, (moderación SUCS).

El sistema cubre los suelos gruesos y los finos, distinguiéndose ambos por el cribado a través de la maya 200; las partículas gruesas son mayores que dicha malla y las finas, menores. Un suelo se considera grueso si, más del 50% de sus partículas en peso, son finas (ver tablas 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6)

En el caso de los suelos finos, se utilizará en forma auxiliar la "Carta de Plasticidad", de la cual incluimos una breve explicación de la manera en que se emplea en la clasificación de este tipo de suelos. (tabla 3.5).

TABLA 3.2 CLASIFICACION DE SUELOS (SAHOP)

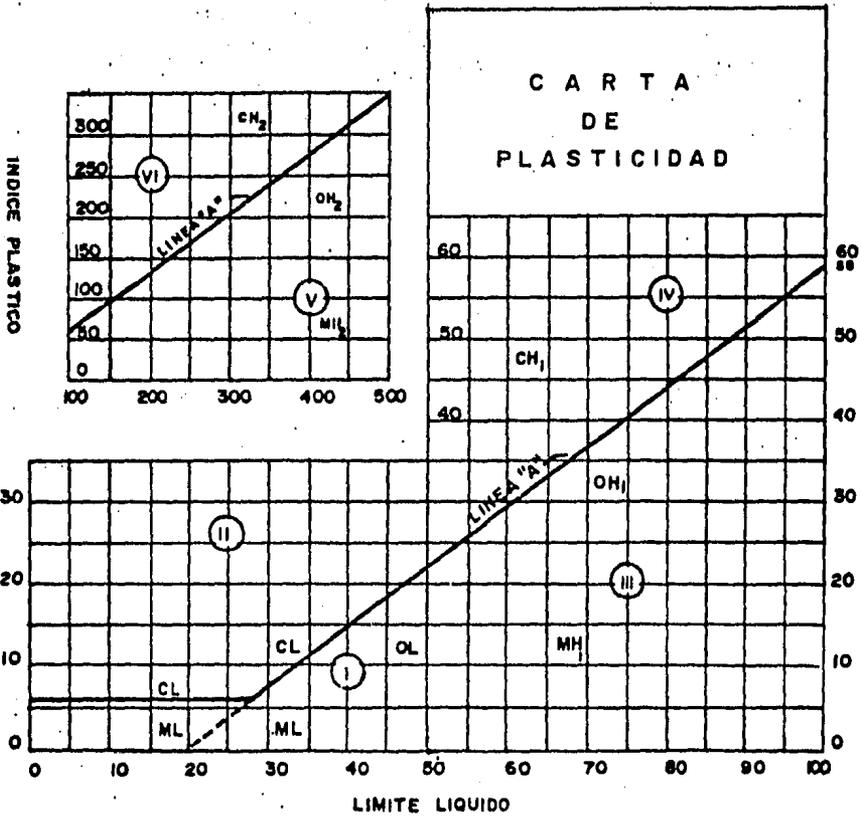
TIPO	SUBTIPOS	IDENTIFICACION	SIMBOLO DE GRUPO	NOTAS
FRAGMENTOS DE ROCA Tamaños mayores de 7.6 cm (3") y menores de 2 m	<p>GRANDES Mayores de 75 cm (30") y menores de 2 m</p>	<p>Fragmentos grandes, con menos del 10% de otros fragmentos o de suelo. Fragmentos grandes mezclados con fragmentos medianos predominando los grandes, con menos del 10% de fragmentos chicos o de suelo. Fragmentos grandes mezclados con fragmentos chicos, predominando los grandes, con menos del 10% de fragmentos medianos o de suelo. Fragmentos grandes mezclados con fragmentos medianos y chicos, predominando los grandes sobre los medianos y éstos sobre los chicos, con menos del 10% de suelo. Fragmentos grandes mezclados con fragmentos chicos y medianos, predominando los grandes sobre los chicos y éstos sobre los medianos, con menos del 10% de suelo.</p>	<p>Fg Fgm Fgc Fgmc Fgcm</p>	<p>1. Cuando los fragmentos de roca contengan más del 10% de suelo, el material se clasificará con símbolo doble, utilizando los símbolos del suelo correspondiente y los del fragmento respectivo. Si el volumen de suelo es mayor del 50%, el símbolo de este se antepone al del fragmento si el volumen de suelo está comprendido entre 10 y 50 su símbolo de los fragmentos de roca.</p>
	<p>MEDIANOS Mayores de 20 cm (8") y menores de 75 cm (30")</p>	<p>Fragmentos medianos, con menos del 10% de otros fragmentos o de suelo. Fragmentos medianos mezclados con fragmentos chicos predominando los medianos sobre los chicos, con menos del 10% de fragmentos grandes o de suelo. Fragmentos medianos mezclados con fragmentos grandes, predominando los medianos sobre los grandes, con menos del 10% de fragmentos chicos o de suelo. Fragmentos medianos mezclados con fragmentos chicos y grandes, predominando los medianos sobre los chicos y éstos sobre los grandes, con menos del 10% de suelo. Fragmentos medianos mezclados con fragmentos grandes y chicos, predominando los medianos sobre los grandes y éstos sobre los chicos, con menos del 10% de suelo.</p>	<p>Fm Fmc Fmg Fmcg Fmgc</p>	<p>Ejemplo 1 Ejemplo 2 Un material Un suelo contiene: contiene: 60% de GC 40% de Fm 20% de Fg 30% de SM 15% de Fm 20% de Fc 5% de Fc 10% de Fg Su símbolo- Su símbolo- gia sería gia sería GC-Fgm FmcsGM Los porcentajes en volumen de los diferentes fragmentos de roca que contenga un material, se dará en forma estimativa.</p>
	<p>CHICOS Mayores de 7.6 cm (3") y Menores de 20 cm (8")</p>	<p>Fragmentos chicos, con menos del 10% de otros fragmentos o de suelo. Fragmentos chicos mezclados con fragmentos medianos predominando los chicos, con menos del 10% de fragmentos grandes o de suelo. Fragmentos chicos mezclados con fragmentos grandes, predominando los chicos, con menos del 10% de fragmentos medianos o de suelo. Fragmentos chicos mezclados con fragmentos medianos y grandes, predominando los chicos sobre los medianos y éstos sobre los grandes, con menos del 10% de suelo. Fragmentos chicos mezclados con fragmentos grandes y medianos, predominando los chicos sobre los grandes y éstos sobre los medianos, con menos del 10% de suelo.</p>	<p>Fc Fcm Fcg Fcmg Fcmg</p>	<p>2. La clasificación de suelos que aparece en este cuadro corresponde en general al Sistema Unificado (S.U.C.S.) y puede considerarse como la versión S.O.P. de dicho sistema. 3. Todos los tamaños de las mallas que aparecen en este cuadro son los de la U.S. Standard (abertura cuadrada)</p>

T A B L A 3.4

<p>S U E L O S</p> <p>Partículas menores de 7.6cm (3")</p> <p>DE PARTICULAS FINAS</p> <p>Más de la mitad del material pasa la malla Núm. 200</p> <p>Se estima que las partículas más pequeñas apreciables a simple vista corresponden a un tamaño de 0.074 mm (malla Núm. 200)</p>	<p>LIMOS Y ARCILLAS</p> <p>Límite líquido</p>	Menor de 50%	<p>ML</p> <p>CL</p> <p>OL</p> <p>Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas ligeramente plásticas. (Dentro de la zona I de la carta de plasticidad)</p> <p>Arcillas inorgánicas de baja o mediana plasticidad arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres. (Dentro de la zona de la carta de plasticidad.)</p> <p>Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad. (Dentro de la zona I de la carta de plasticidad.)</p>	<p>7. La clasificación de los suelos de partículas finas se determina principalmente haciendo pruebas de límite de plasticidad, a la fracción que pasa la malla No 40.</p>	
		Entre 50 y 100%	<p>MI₁</p> <p>CI₁</p> <p>OH₁</p> <p>Limos inorgánicos de baja o mediana plasticidad, arenas finas o limos micáceos o diatomáceos, limos elásticos. (Dentro de la zona III de la carta de plasticidad.)</p> <p>Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas, (Dentro de la Zona IV de la carta de plasticidad.)</p> <p>Limos y arcillas orgánicas de media o alta plasticidad. (Dentro de la zona III de la carta de plasticidad.)</p>		<p>8. Se ha observado que los suelos OL, MI₁ y OH₁, caen dentro de las mismas zonas de la carta de plasticidad que los suelos MI, MI₁ y MI₂, respectivamente. Sin embargo, casi siempre quedan más cerca de la línea "A" que estos últimos en virtud de presentar mayores índices plásticos.</p>
		Mayor de 100%	<p>MI₂</p> <p>CI₂</p> <p>OH₂</p> <p>Limos inorgánicos de alta plasticidad. (Dentro de la zona V de la carta de plasticidad.)</p> <p>Arcillas inorgánicas de muy alta plasticidad. (Dentro de la zona VI de la carta de plasticidad.)</p> <p>Limos y arcillas orgánicas de alta plasticidad. (Dentro de la zona V de la carta de plasticidad.)</p>		
Altamente orgánicos	<p>Fácilmente identificables por su olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa. Turba y otros suelos altamente orgánicos</p> <p>P_t</p>				

T A B L A 3.5

CARTA DE PLASTICIDAD



CARTA DE PLASTICIDAD

(Clasificación de Suelos Finos)

En la representación de los Suelos Finos en una carta de --
ordenadas límite Líquido- Índice de plasticidad, podemos obser
que estos se agrupan de manera que en cada zona de la carta
sitúan aquellos con características de plasticidad y propieda
mecánicas e hidráulicas definidas. Los suelos con alto conte
o de materia orgánica, así como aquellos que contienen finos
baja plasticidad se sitúan en las zonas bajas, mientras que -
suelos cuyas partículas finas exhiben mayores característi--
de plasticidad están situados en la parte superior. Esto dió
gón a que se fijara una línea que sirviera de frontera entre-
grupos mencionados. Esta línea (línea A), así empíricamente-
nada, pasa por los puntos de coordenadas (20,0) y (50,22).

También en este caso el SUCS considera a los suelos agrupa-
formandose el grupo por dos letras mayúsculas, dando lugar-
as siguientes divisiones:

- Limos Inorgánicos, "M" (Del sueco MO y MJALA)
- Arcillas Inorgánicas, "C" (Clay)
- Limos y Arcillas orgánicas, "O" (Organic)

Cada uno de estos se subdividen, según su límite líquido, -
los grupos. Si este es menor de 50%, es decir si son suelos -
compresibilidad baja o media, se añade la letra "L" (Low Com-
presibility), obteniendose por esta combinación los grupos ML,-
y OL. Los suelos finos con límite líquido mayor de 50%, o --
de alta compresibilidad, llevan la letra "H" (High Compre-
sibility), teniendose así los grupos MH, CH, y OH.

3.1.5 Procedimientos y Equipos para el Tratamiento - de los Materiales.

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 tratamientos de trituración total a separaciones en diferentes tamaños para su dosificación en planta.

a) Eliminación a mano.

Existen materiales de bancos, principalmente en playones de grava-arena, que en general cumplen con los requisitos señalados por las normas respectivas, presentando solo desperdicios mayores de 3" en un porcentaje del orden de 5% a 10%, lo que permite su eliminación a un costo bajo mediante la gente.

b) Cribado de materiales.

La operación o tratamiento de cribar exclusivamente materiales para su uso en pavimentación, se a-

plica para aquellos materiales poco o nada cohesivos, cuyo porcentaje de desperdicio fluctua de un 5% a un 25% de fragmentos con tamaño mayor que el especificado. A continuación mencionaremos las cribas más comunes:

- Criba de Gravedad.

Consiste de una malla de abertura cuyo tamaño es la máxima medida aceptada, 3" en revestimiento provicional, 2" para sub-base y 1.5" para base hidráulica, con una inclinación variable del orden de 30° y una tolva de entrada.

- Criba Vibratoria.

Estas máquinas se componen de uno, dos o tres pisos de mallas de alambre o de placas perforadas con orificios de diversas formas, montadas en un bastidor flotante apoyado en resortes. El efecto vibratorio se produce por medio de una flecha céntrica que gira a elevada velocidad, accionada por un motor e-

eléctrico (1200 vibraciones/minuto).

- Criba Rotatoria.

Está formada por una estructura de forma cilíndrica que gira sobre un eje de modo que el cribado del primer tambor en serie, pase al segundo y de éste al tercero, etc., obteniéndose los diferentes tamaños que se requieren.

c) Trituración.

La trituración es en general el tratamiento al que se recurre para poder obtener la transformación del material en forma natural, a la sucesión de tamaños que se requieren para las diversas etapas de pavimentación.

Las características deseables para seleccionar un equipo de trituración pueden resumirse como sigue:

- Que admitan los tamaños grandes que se reciben.
- Que se resista mejor el desgaste por abrasión

- Que tenga capacidad para absorber cargas máximas.
- Que produzca el tamaño deseado a la salida.
- Que la máquina ceda con seguridad al hallar material no reducible.
- Que no se obture.
- Que tenga la menor demanda de energía por tonelada de producto terminado.
- Que requiera un mínimo de supervisión.
- Que funcione económicamente con un mantenimiento mínimo.
- Que tenga una mayor vida útil.

Para decidir cual es el equipo de trituración apropiado hay que tomar en cuenta dos conceptos básicos que definen el comportamiento y campo de aplicación de los diferentes tipos de quebradoras, son el Índice de Reducción y el Coeficiente de forma.

- Índice de Reducción.

A medida que la piedra pasa a través de una quebradora, sufre una reducción en tamaño que puede expresarse como una relación. La relación de re

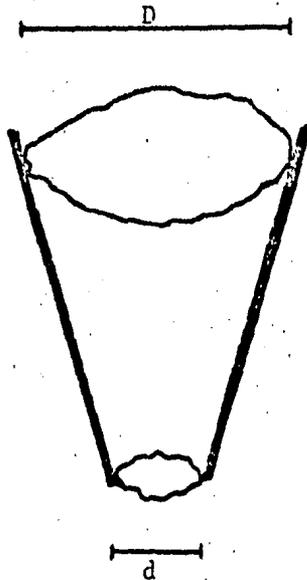
ducción es la proporción de la distancia entre las caras móviles y fija en la parte superior dividida por la distancia del fondo de la quebradora.

Por tanto se define como Índice de Reducción de una máquina de trituración a la relación:

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

Donde:

- IR = Índice de Reducción
- D = Diametro máximo admitido
- d = Diametro de Reducción.



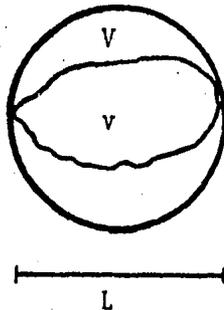
- Coeficiente de Forma.

El Coeficiente de Forma es utilizado para conocer el grado de redondez de una roca. Entre más cerca este a la unidad este Coeficiente, el fragmento presentará características cercanas a una esfera.

Este factor nos determinará el equipo de trituración más apropiado de acuerdo a las condiciones de la roca.

El Coeficiente de Forma esta determinado por la siguiente relación:

$$CF = \frac{v}{V} = \frac{v}{\frac{\pi L^3}{6}}$$



Dicho Índice varía con cada tipo de trituradora de acuerdo con la mecánica de su construcción y con los métodos de reducción por ella utilizados.

- Tipos de Trituradoras.

Las trituradoras que se emplean para la reducción de rocas deben ser construidas sólidamente y las superficies de contacto con la piedra deben ser de planchas reemplazables de manganeso u otra aleación especial. Existen varios tipos de trituradoras, entre las que se tienen las siguientes:

- 1) Trituradora de quijadas
- 2) " de molino
- 3) " de rodillos
- 4) " de molino de barras
- 5) " de molino de bolas
- 6) " giratorias
- 7) " cónicas.

1) TRITURADORAS DE QUIJADAS:

Las superficies de triturado consisten en dos quijadas que no se tocan del todo en el fondo y están ampliamente separadas en la parte de arriba. Las caras de estas quijadas pueden ser planas o convexas. Una de las quijadas está fija y la otra sujeta a un brazo excéntrico. En la parte supe-

rior el brazo está montado sobre un eje, hace girar el brazo y la quijada apoyandose primero contra la quijada fija y luego separandose de esta, con algún movimiento vertical de fricción. Las rocas que descansan dentro de la V que forman las quijadas, son trituradas a presión y caen al retroceder las quijadas. Este proceso se repite hasta que las rocas son reducidas a pedazos lo suficientemente pequeños para pasar a través del estrecho espacio en el fondo de las quijadas.

Las trituradoras de quijadas se fabrican en gran variedad y en tamaños hasta una abertura de 1.68 M por 2.13 M. Estas máquinas se clasifican según la abertura entre quijadas. Así por ejemplo, una trituradora de 25cm. x 76 cm. posee una abertura de 25 cm. por arriba y las quijadas tienen 76 cm. de largo. El tamaño máximo de roca redonda que admite es más o menos del 80% de la abertura. - - - (Fig. 3.1).

2) TRITURADORA DE MOLINO DE MARTILLOS:

Es la quebradora más usada y puede utilizarse ya sea para la trituración primaria o secundaria. Las partes básicas de esta unidad incluyen un mar-

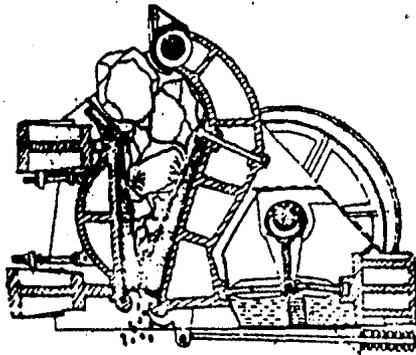
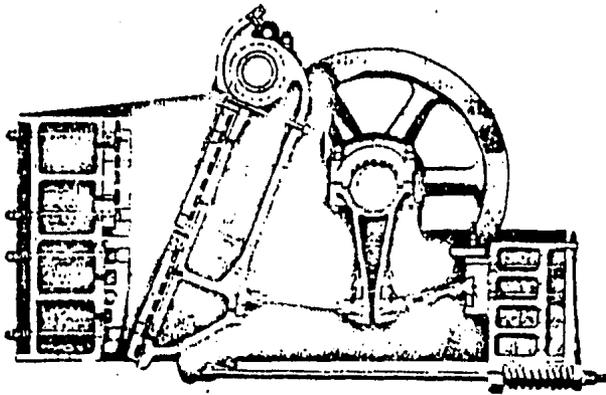


FIG. 3.1 TRITURADORA DE QUIJADAS

co, un eje horizontal que se extiende a través del marco, varios brazos y martillos conectados a un -
carrete que está montado sobre el eje, una o más -
placas angulares de acero al manganeso o de algún-
otro acero duro, y una serie de barras de criba cu-
yos esparcímetros pueden hacerse variar para regu-
lar el ancho de las aberturas para que fluya la --
piedra triturada.

A medida que se alimenta la piedra por triturar al
molino, los martillos, que giran a una alta veló -
cidad (a veces de más de 180 km./hora), golpean --
las partículas, rompiéndolas y empujándolas contra
las placas angulares, que reducen todavía más su -
tamaño. (Fig. 3.2).

3) TRITURADORA DE RODILLOS.

Las Quebradoras de Rodillos se utilizan para --
producir reducciones adicionales en los tamaños de
la piedra una vez que se ha sometido la producción
de una cantera a una o más etapas anteriores de --
trituración. Podemos distinguir dos tipos, de rodi-
llo simple, consiste de un rodillo dentado que gi-

ra cerca a una placa quebrantadora. Los dientes o proyectores se conocen como llantas y actúan como mandarrias al romper piedras grandes. Los pedazos más pequeños son arrastrados entre el rodillo y la placa, y los tritura la presión del arrastre.

Las trituradoras de rodillos dobles consisten de dos rodillos accionados a potencia que rotan en direcciones opuestas, con sus superficies superiores moviéndose una contra otra. La piedra cae por gravedad y por fricción con las superficies del rodillo. Los rodillos pueden ser lisos, corrugados o dentados. Por lo general, la razón de reducción para materiales a alimentar de más de 2.54 cm. de diámetro queda limitada de 4 a 1, pero pedazos más pequeños pueden reducirse tanto como de 10 a 1.

(Fig. 3.3).

4) TRITURADORA DE MOLINO DE BARRAS:

Se emplean para producir agregado fino, como la arena, a partir de piedra que ha sido triturada a tamaños adecuados por otra clase de equipos de tri

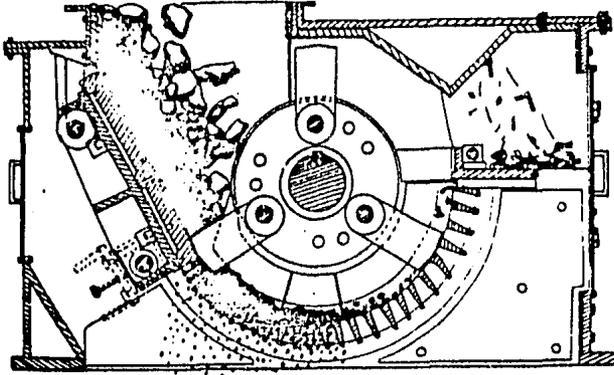


FIG. 3.2 MÓLINO DE MARTILLOS

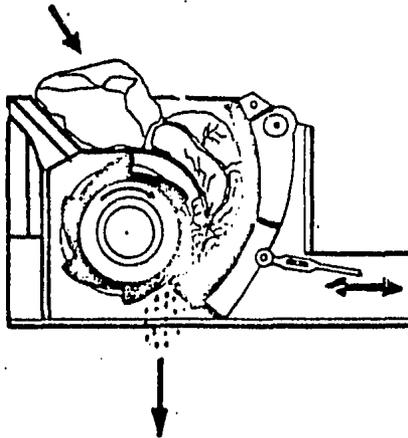


FIG. 3.3 TRITURADORA DE RODILLOS

turación.

Un molino de barras es un cascarón de acero, forrado en el interior con una dura superficie de mineral para evitar el desgaste, equipado con un soporte adecuado o con una chumacera en cada uno de sus extremos, con un engrane motriz en uno de los extremos. Trabaja con su eje en posición horizontal. Está cargado con barras de acero, cuyas longitudes son ligeramente inferiores a las del molino.

La piedra triturada, que se alimenta a través de una tolva en uno de los extremos, fluye a la descarga en el otro extremo. A medida que gira lentamente el molino, la piedra está sujeta constantemente al impacto de las barras en movimiento, que producen la molienda deseada. Los molinos pueden operarse en seco o con agua. (Fig. 3.4).

5) TRITURADORA DE MOLINO DE BOLAS:

Al igual que la trituradora anterior, su empleo se concreta a la producción de agregados finos, --

aunque con tamaños menores que los producidos por la de Barras.

Presenta una estructura semejante, conformada por un cascarón semicilíndrico pero que sustituye las barras por bolas de acero. (Fig. 3.5).

6) TRITURADORAS GIRATORIAS.

Estas trituradoras derivan su nombre del movimiento giratorio de un cabezal situado dentro de un tazón cónico. La parte inferior del eje que soporta el cabezal, está montada sobre una excéntrica accionada mediante un mecanismo de rueda y piñón. Esto origina un movimiento giratorio. En la parte superior está una cámara de trituración de forma cónica, forrada con placas de acero duro o de acero al manganeso; estas placas se llaman concavidades. El miembro triturante incluye una cabeza de triturado de acero duro montada sobre un eje vertical de acero.

A medida que la piedra que se alimenta en la parte superior de la cámara triturante, se mueve hacia abajo, sufre una reducción en tamaño hasta

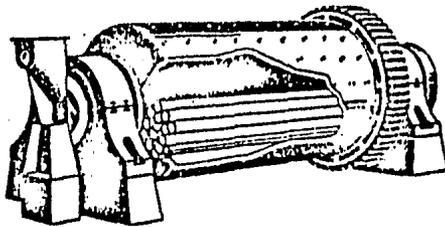


FIG. 3.4 MOLINO DE BARRAS

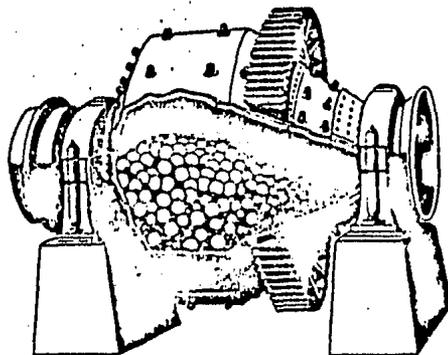


FIG. 3.5 MOLINO DE BOLAS

que finalmente pasa a través de la abertura provista en la parte inferior de la cámara.

La relación de reducción para las quebradoras giratorias por lo general varía de 5.5 a 7.5, para tamaños hasta de 42 pulgadas, (Fig. 3.6)

7) TRITURADORAS CONICAS.

Las Quebradoras cónicas, o de reducción, se utilizan como trituradoras secundarias y terciarias. (Fig. 3.7) Son capaces de producir grandes cantidades de piedra uniforme y finalmente triturada. Las quebradoras cónicas difieren de las giratorias en los siguientes aspectos.

- Tienen un costo más corto
- Tienen una abertura de entrada más pequeña
- Giran a velocidades más altas
- Producen una piedra de tamaño más uniforme con un tamaño máximo igual al ajuste cerrado.

Las trituradoras descritas hasta este momento utilizan básicamente cuatro métodos de reducción del tamaño del material, que son: por compresión, por desgaste, por impacto y por corte. (Tabla 3.7)

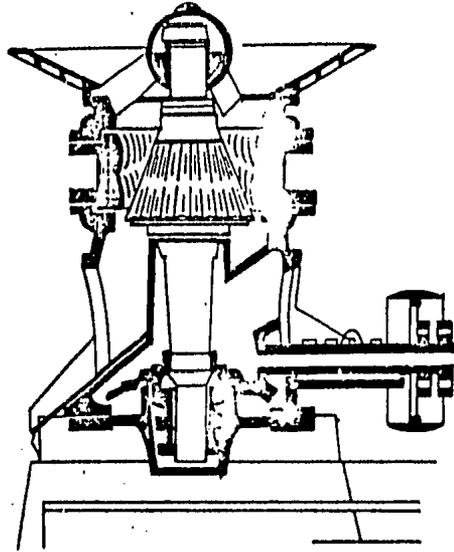


FIG. 3.6 TRITURADORA GIRATORIA

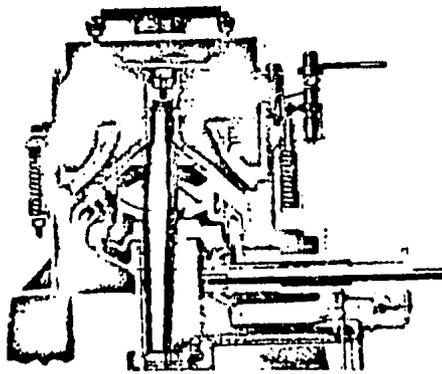


FIG. 3.7 TRITURADORA CONICA

" METODOS DE REDUCCION EN CADA TIPO DE
QUEBRADORA

TIPO DE QUEBRADORA	METODO DE REDUCCION			
	IMPACTO	DESGAS.	CORTE	COMPRES.
MARTILLOS	■	■	■	□
RODILLOS	■	□	■	■
GIRATORIAS	■	■	□	■
QUIJADAS	■	□	□	■
CONO	■	□	□	■
BARRAS	■	■	□	□
BOLAS	■	■	□	□

TABLA 3.7

3.1.6 Materiales Pétreos en Diferentes Elementos -- del Pavimento.

a) Materiales de uso probable en sub-bases y bases.

Probablemente uno de los materiales que más uso tienen son las gravas-arenas procedentes de rios las cuales generalmente deben ser sometidas a--- trituración parcial y cribado, y en mayor parte de los casos es necesario mezclarlas para que -- completen su granulometría, mejoren su cementa-- ción, abatan su plasticidad etc; estos materia-- les se prefieren a otros, debido a lo económico-- que resultan tanto su extracción como su trata-- miento.

Los conglomerados son comunmente utilizados en - sub-bases, aunque también se emplean en las ba-- ses; en ambos casos después de su trituración -- parcial y cribado, lo más usual es que se les a-- gregue un material fino inerte, para reducir --- principalmente sus características plásticas.

La arenisca es otro de los materiales que gene - ralmente se emplean, normalmente sólo se someten

a tratamiento de disgregado o trituración parcial; también se emplean como materiales de mejoramiento en los de base (15 a 25%), los cuales comúnmente son materiales triturados total o parcialmente cribados.

En las sub-bases se emplean también algunos tipos de rocas alteradas, las que en la mayoría de las ocasiones se les da tratamiento de disgregado o trituración parcial, dependiendo éste de su grado de alteración. En ocasiones se utilizan en un porcentaje reducido (15 a 30%) como materiales de mejoramiento en las mismas sub-bases y/o bases.

b) Materiales para bases estabilizadas.

Cuando por diversas razones se requiere emplear en bases de pavimentos, materiales de la localidad que por si solos no reúnen características físicas satisfactorias para estos fines se recurre a tratar dichos materiales. Estos pueden ser los mismos que se mencionaron en el punto inmediato anterior, pero que por alguna razón no cumplen con las especificaciones.

caciones de calidad correspondientes. En este caso se procede a la estabilización. lo cual puede ser a base de productos asfálticos cemento Portland, mezclas de cemento y puzolana, cal hidratada, etc.

c) Materiales de uso probable en mezclas asfálticas y tratamientos superficiales.

Los materiales que se emplean con más frecuencia en mezclas asfálticas son las gravas-arenas, los aglomerados, conglomerados, rocas de mantos de depósitos y algunos otros materiales que pueden considerarse como especiales.

En general los materiales como las gravas-arenas, los aglomerados, conglomerados, para su empleo en mezclas asfálticas, es necesario someterlos a un tratamiento de trituración parcial y cribado, aunque con frecuencia, en el caso de los conglomerados y aglomerados, es necesario el lavado; las rocas procedentes de mantos o depósitos, se someten a trituración total y cribado, siendo también necesario, en

ciertos casos lavarlos, para eliminar particu-
las arcillosas.

En algunas ocasiones, a los materiales señala-
dos anteriormente, se les incorpora otro mate-
rial pétreo, con objeto de mejorar algunas ca-
racterísticas físicas del material principal,
como granulometría, plasticidad, etc.

Para emplearse en tratamientos superficiales,
generalmente se utilizan gravas y rocas de --
mantos, de depósitos y solamente en casos muy
especiales, se llegan a emplear aglomerados o
conglomerados cuando estos se presentan lim-
pios de arcilla y con una fuerte proporción -
de fragmentos triturables.

3.2 El Asfalto.

3.2.1 Descripción.

El asfalto es un componente natural y un mate-
rial de particular interés para el ingeniero -
porque es un aglomerante resistente, muy adhe-

sivo, altamente impermeable y duradero. Es una sustancia plástica que da flexibilidad controlable a las mezclas de áridos con las que se combina, además es altamente resistente a la mayor parte de los ácidos, álcalis y sales.

Aunque es una sustancia sólida o semisólida a temperaturas atmosféricas ordinarias, puede licuarse fácilmente por aplicación de calor, por la acción de disolventes de volatilidad variable o por emulsificación.

La cantidad de asfalto que puede contener un crudo de petróleo es muy variable y depende de la densidad API (American Petroleum Institute) del mismo. Cuanto más baja es la densidad del crudo, mayor es su contenido de asfalto; por ejem., un crudo de densidad API 15 produce, aproximadamente un 60% de asfalto y un 40% de destilados de petróleo más ligeros, tales como gasolina, Keroseno, fuel-oil, aceites lubricantes, etc., mientras que un crudo de densidad API-35 puede producir solo un 10% de asfalto y alrededor de un 90% de fracciones más ligeras.

3.2.2 Tipos de asfalto.

a) Productos asfálticos líquidos.

Los materiales asfálticos de curado rápido, medio y lento se designan usualmente por sus iniciales en inglés: RC, MC, SC, respectivamente (FR, FM, FL en español), el grado o fluidez se indica por una cifra que sigue a las iniciales. Los asfaltos menos viscosos o más fluidos se designan por el número 0, como RC-0, MC-0 y SC-0. Los números 0,1,2,3,4, y 5 designan asfaltos progresivamente menos fluidos o de mayor viscosidad al crecer los números (Fig. 3.8).

b) Asfalto Natural.

Es un asfalto que se obtiene por el proceso natural de evaporación o destilación y se forma cuando el petróleo crudo sube hasta la superficie de la tierra a través de grietas. Ya en la superficie, la acción conjunta de el sol y el aire separa los aceites ligeros y los gases

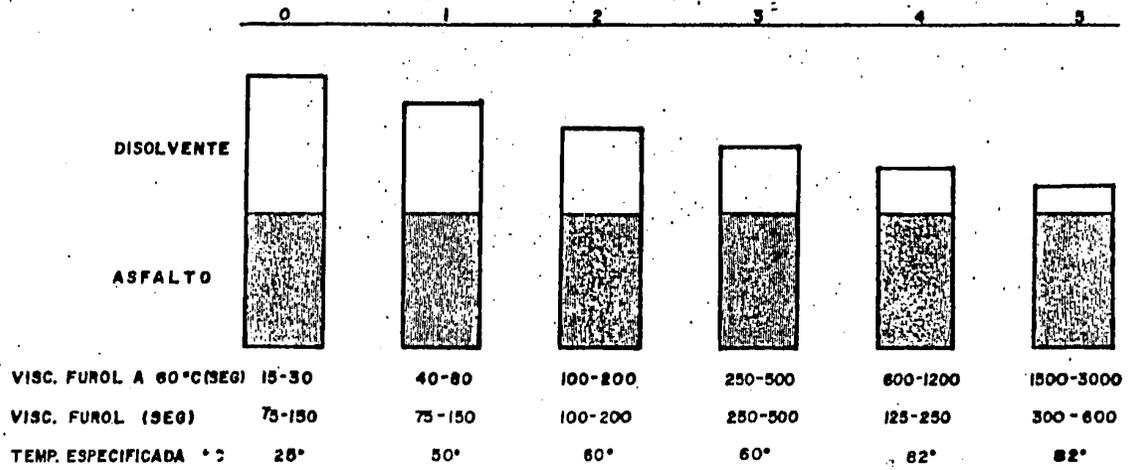


FIG. 3.8 RELACIONES ENTRE LA COMPOSICION Y VISCOSIDAD DE LOS ASFALTOS LIQUIDOS.

dejando un residuo que es el asfalto, el --
cual generalmente está impregnado con un --
cierto porcentaje de arcilla o arena muy fi
na que se adhiere al petróleo crudo durante
el trayecto ascendente por las grietas a la
superficie.

c) Asfalto Oxidado o Soplado.

Es aquel asfalto al cual se le ha modifica-
do alguna de sus características naturales,
debido a que se le ha inyectado aire a tem-
peratura elevada durante su destilación. -
Este asfalto tiene un punto de fusión más -
alto que el asfalto de la misma consisten -
cia elaborado por destilación o evaporación
Se usa mucho para sellado inferior de vie--
jos pavimentos rígidos bajo los cuales se -
han producido cavidades..

d) Cemento Asfáltico.

Es un asfalto refinado por destilación al -
vapor de los residuos más pesados del proce
so de fraccionación, continuándose la desti

lación hasta obtener la penetración deseada.

e) Emulsiones Asfálticas.

La emulsión asfáltica es una combinación de agua, asfalto y un agente emulsificante. El asfalto no se disuelve en agua, de manera que agua y asfalto se mantienen en fases separadas.

3.2.3 Propiedades de los Materiales Asfálticos.

Se han clasificado a las propiedades de los materiales asfálticos empleados en pavimentación en cuatro grupos generales de acuerdo con su:

- 1) Consistencia
- 2) Durabilidad o Resistencia al envejecimiento
- 3) Velocidad de Curado
- 4) Resistencia a la acción del agua

Estas propiedades definen completamente a fines prácticos el tipo de asfalto y su adecuación para cualquier uso determinado.

- 1) CONSISTENCIA

La consistencia de los materiales asfálticos varía desde la de un líquido muy fluido, solo ligeramente más viscoso que el agua (asfalto líquido grado 0), a la de un cuerpo semisólido rígido, (Asfaltos Oxidados). A causa de esta amplia variación, no hay ningún instrumento que mida satisfactoriamente la consistencia de todos los materiales asfálticos.

En la actualidad se emplean tres métodos distintos para la medida de consistencias:

- a) Viscosidad Furol
- b) Penetración
- c) Ensayo del Flotador

a) Viscosidad Furol.

El término más general empleado para la designación de la consistencia es el de viscosidad, que es una medida de la resistencia al flujo. Cuanto más alta es la viscosidad de un líquido, más se aproxima este en sus propiedades de consistencia a un semisólido.

La viscosidad Furol es un ensayo específico que se emplea para medir la viscosidad de los materiales asfálticos líquidos. Es un número de segundos que necesitan 60 cm³ del material para fluir a través de un orificio de tamaño dado y a una temperatura especificada (Fig. 3,9)

La viscosidad del asfalto es una función decreciente de la temperatura; por consiguiente, se elige la temperatura de ensayo de cada grado, de forma que se obtenga un tiempo de fluencia adecuado a los fines prácticos.

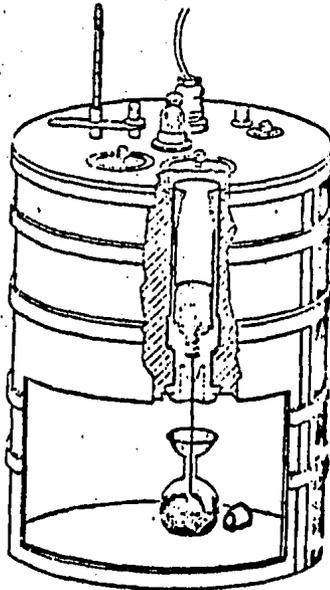


FIG. 3.9

b) Penetración.

El asfalto es un cuerpo semisólido a temperatura ambiente. Aun cuando se caliente para disminuir la viscosidad no es práctico determinar la consistencia por la viscosidad Furol. La principal razón por la que estamos interesados en su consistencia es con el fin de determinar sus cualidades o poder cementante a la temperatura normal en la carretera. Es un hecho conocido que cuanto más rígido es el asfalto, más fuertemente une las piedras en una mezcla asfáltica.

Teniendo en cuenta estas consideraciones prácticas, se hace uso de un método que refleja la consistencia a 25°C, que es aproximadamente, la temperatura ambiente media. Se llama penetración, y se realiza permitiendo que una aguja de dimensiones especificadas cargada con 100 g penetre en el material durante un período de 5 seg. (vease Fig. 3.10)-

Se determina la penetración por la profundidad a que la aguja se hunde en el asfalto, medida en décimas de milímetro. Así por ejemplo, en

un material que tenga una penetración de 100, la aguja se hundirá en el asfalto exactamente 1 cm. La penetración y la consistencia son inversamente proporcionales; es decir, cuanto mayor es la penetración, más blando es el asfalto.

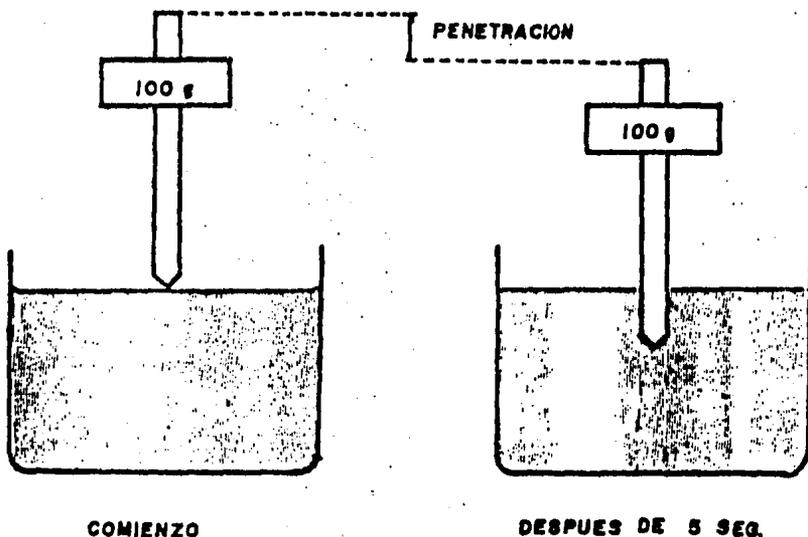


FIG. 3.10 ENSAYO DE PENETRACION.

c) Ensayo del Flotador

Los asfaltos más viscosos que un asfalto líquido

do de grado 5 no pueden estudiarse de modo adecuado con el ensayo de viscosidad Furol. Por otra parte, los que tienen una penetración mayor de 300 no resultan adecuados para sufrir el ensayo de penetración. Por consiguiente, hay un determinado margen de consistencia en el que ninguno de los dos ensayos es aplicable. Su viscosidad se mide entonces, por medio del ensayo del flotador.

Para realizar el ensayo del flotador se coloca el asfalto en un pequeño molde abierto por ambos extremos. A continuación se enfría y se une al fondo de un platillo de aluminio sumergido en un baño de agua a 50°C (Fig. 3,11). El tiempo, medido en segundos, necesario para que el agua se abra paso a través del tapón de asfalto, se da como resultado del ensayo del flotador. De este modo, cuanto más alto es el valor de esta cifra, más rígido es el asfalto.

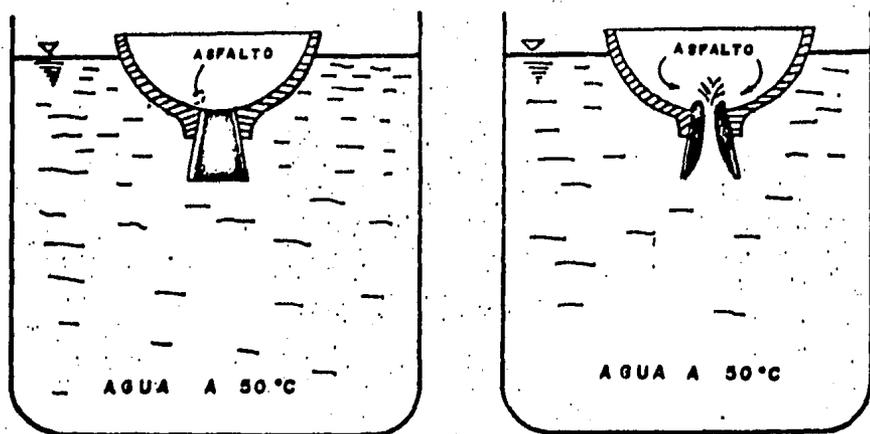


FIG. 3.11 ENSAYO DEL FLOTADOR.

2) DURABILIDAD O RESISTENCIA AL ENVEJECIMIENTO.

Para que sirva satisfactoriamente como ligante, un asfalto de pavimentación debe mantenerse plástico. Cuando un asfalto en película delgada se expone a las inclemencias atmosféricas, a veces pierde parte de su plasticidad y se hace quebradizo a causa de ciertos cambios físicos y químicos. Este deterioro natural se llama envejecimiento atmosférico, el cual da lugar en ocasiones a la formación de finas grietas. Cuando este proceso continúa, las grietas se ensanchan y finalmente, a menos que se ponga algún remedio el agua superficial entra por las grietas abiertas, reblandeciendo la base o helándose, dando lugar a que el pavimento asfáltico quede deshecho.

El envejecimiento atmosférico de los asfaltos de pavimentación se produce principalmente por oxidación y volatilización.

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

Volatilización es la evaporación de los hidrocarburos más ligeros del asfalto. El efecto de ambos factores produce un endurecimiento progresivo y permanente del asfalto que puede medirse por el ensayo de penetración. Se ha mostrado que cuando el asfalto de un pavimento llega a alcanzar una penetración de 30 es muy probable que se haga quebradizo y forme grietas. Por consiguiente, es evidente que será ventajoso emplear los tipos de asfalto más blandos (de mayor penetración).

3) VELOCIDAD DE CURADO.

Se define el curado como el aumento de la consistencia de un asfalto debido a la pérdida progresiva de disolventes por evaporación.

Las propiedades intrínsecas más importantes de un asfalto que afectan al tiempo de curado son las siguientes:

- Volatilidad o velocidad de evaporación del disolvente.
- Cantidad de disolvente contenido.
- Penetración del asfalto base.

El efecto de la volatilidad del disolvente es evidente, ya que es la diferencia esencial entre los asfaltos líquidos de tipo RC, NC, SG. Es claro que cuanto menos disolventes contiene, menos tiempo es necesario para su curado.

El tiempo de curado crece cuando aumenta la penetración o disminuye la dureza del asfalto.

Los factores externos más importantes que afectan al tiempo de curado son los siguientes:

- Temperatura
- Superficie (Relación superficie a volumen)
- Velocidad del viento.

4) RESISTENCIA A LA ACCION DEL AGUA.

La durabilidad de un pavimento asfáltico depende en gran medida a la capacidad del asfalto para adherirse a los materiales pétreos en presencia de agua. Bajo determinadas condiciones se observan a veces en algunos tipos de mezclas -- pérdidas de adherencia entre los materiales y el asfalto y deterioro del pavimento poco des--

pués de su contrucción. En estos casos, la separación del asfalto y los materiales pétreos se ha limitado a las mezclas en frío, en las que se usaron asfaltos líquidos con pétreos hidrofílicos. En estas condiciones, pueden mejorarse la capacidad del asfalto para adherirse a los materiales pétreos mediante el uso de aditivos comerciales.

IV.- DISEÑO.

En el presente capítulo, consideramos en primera instancia los factores que afectan el comportamiento de los pavimentos y que deben contemplarse en el diseño de los mismos.

De igual forma se mencionan las variables que intervienen en este proceso haciendo énfasis en la descripción de conceptos básicos.

Finalmente se detallan los métodos de diseño con mayor aplicación en nuestro país y se hace referencia a los aplicados en otras partes del mundo.

4.1 Factores que Intervienen en el Diseño.

Los factores que independientemente del método y calidad del diseño de un pavimento, afectan en forma predominante a éste, los podemos resumir de la siguiente forma:

a) Carga y Tránsito.

- Magnitud de las Cargas
- Configuración de las llantas y espaciamiento entre ellas
- Número de ejes
- Presión de Inflado
- Presión de Contacto
- Superficie del Area de Contacto
- Número de repetición de cargas, cambios anuales y estacionales
- Tasa de Crecimiento
- Distribución de Tránsito en la Sección Transversal

b) Regionales

- Temperatura
- Régimen de Precipitación
- Nivel Freático
- Geología
- Topografía

c) Estructurales

- Características de las capas que constituyen el pavimento
- Espesores

- Resistencias
 - Deformabilidad
 - Disponibilidad de Materiales
 - Costo
 - Respuesta bajo condiciones regionales
- d) Comportamiento
- Seguridad
 - Serviciabilidad
 - Durabilidad
- e) - Criterios de Decisión
- Disponibilidad de fondos
 - Costos de Construcción, Conservación y Operación
 - Impacto Ambiental
- f) - Construcción
- Control de Calidad
 - Disponibilidad de equipo y personal

De los aspectos que es importante distinguir, podemos mencionar los siguientes:

4.1.1 El Clima.

El principal factor climático que afecta a los pavimentos suele ser la Precipitación Pluvial, ya -

por su acción directa o por elevación de las aguas freáticas. Frecuentemente, el proyectista se ve obligado al diseño y construcción de estructuras adicionales de drenaje, aparte del drenaje normal que nunca podrá faltar en la obra vial o al empleo de diseños especiales para el pavimento.

4.1.2 Materiales en Terracería y Subrasante.

Los materiales que constituyen la terracería y la capa subrasante de un camino, juegan un papel fundamental en el comportamiento y espesor requerido de un pavimento flexible. Por ello la determinación de las características del suelo que formará la terracería y la capa subrasante, en su caso es vital.

4.1.3 El Tránsito.

El tránsito produce las cargas a que el pavimento va a estar sujeto. Respecto al diseño de los pavimentos interesa conocer la magnitud de esas cargas, las presiones de inflado de las --

llantas, así como su área de contacto su disposición y arreglo en el vehículo, la frecuencia y número de repeticiones de las cargas y las velocidades de aplicación.

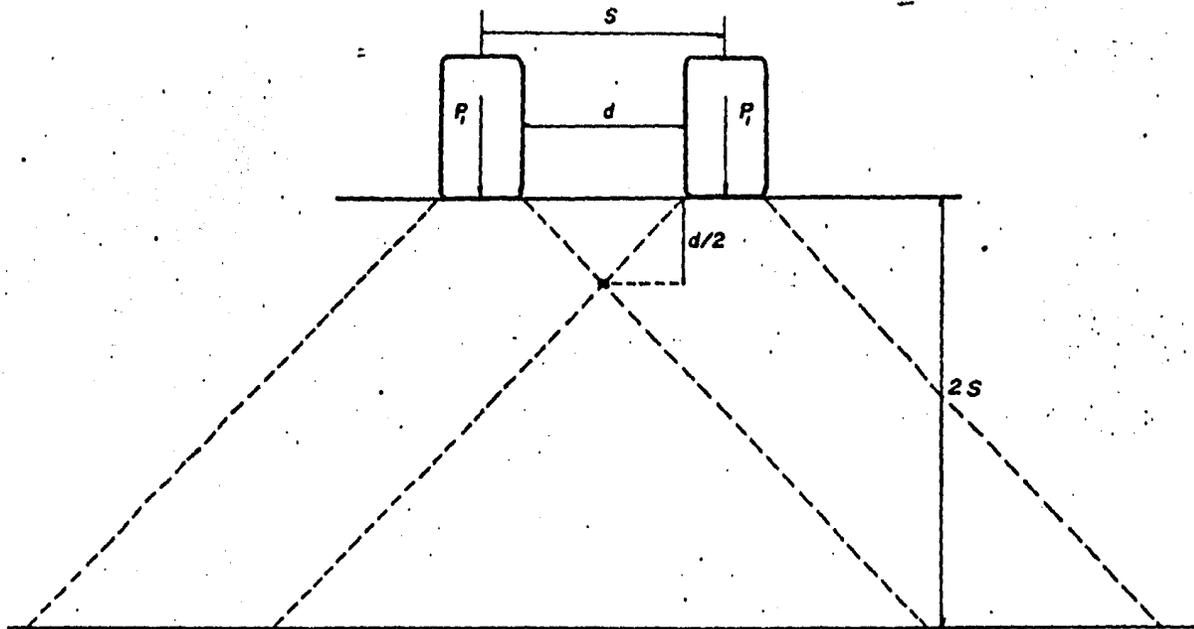
Una buena parte de estas características de las cargas son muy difíciles o imposibles de reproducir en los laboratorios con fines de investigación y en ello radica una buena parte de la dificultad que se deja notar en este campo.

4.1.4 Carga Equivalente

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

En la Figura 4.1 se muestra una idealización del efecto de un sistema dual en lo que se refiere a la distribución de los esfuerzos transmitidos.

FIGURA 4.1



INFLUENCIA DE UN SISTEMA DUAL EN LO QUE SE REFIERE A ESFUERZOS.

Tanto la teoría como las mediciones experimentales muestran que el efecto de las dos llantas empieza a superponerse apreciablemente a la profundidad $d/2$ bajo la superficie de rodamiento; también muestran que la superposición de esfuerzos de las dos llantas es prácticamente, total a la profundidad $2S$.

Existen algunas fórmulas para calcular la carga de la rueda de diseño:

- En base a la teoría de Boussinesq (*)

$$\sqrt{P_1} C = \sqrt{P_2} (C_1 + C_2)$$

DONDE:

P_1 = Carga equivalente al sistema doble

P_2 = Carga de cada rueda del sistema

C_1, C_2 = Factor de asentamiento de cada una de las ruedas.

C = Factor de asentamiento para el sistema dual.

$$C = \frac{3}{2} \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{Z}{R}\right)^2\right]^{1/2}}$$

Z = Espesor del pavimento

r = Radio del área de contacto de la carga

- Método de la Armada de los EUA. (*)

$$P_1 = P \left(1 + \frac{Z^2}{R^2}\right)$$

DONDE:

P_1 = Carga equivalente de la rueda de diseño

P = Carga de cada llanta del sistema dual

Z = Profundidad a que se cumple la equivalencia, igual en los cálculos al espesor del pavimento.

$$R = \sqrt{Z^2 + S^2}$$

S = Separación de las llantas del sistema dual, centro a centro.

(*) NOTA: El desarrollo de las fórmulas mencionadas se encuentra en el Cap.X del libro-

4.1.5 Calificación Actual.

El concepto de calificación actual se desarrolló en la prueba de carreteras AASHO (American Association State Highway Officials), en la cual por medio de un procedimiento muy elaborado, basado en evaluaciones de mucha gente y de muchos pavimentos con diferentes grados de desgaste, los ingenieros encargados de la prueba, definieron la falla funcional del pavimento en función de un número que refleja la cualidad de rodamiento. Este número es llamado "Índice de Calificación actual" y varía de 0 a 5. La calificación es una medida del daño acumulado existente en el momento de la inspección, juzgado desde el punto de vista de la molestia que ocasiona al usuario de la carretera. La escala AASHO para determinar esta calificación es la siguiente:

CALIFICACION

ESTADO DEL PAVIMENTO

0 - 1

Muy malo

1 - 2	Malo
2 - 3	Regular
3 - 4	Bueno
4 - 5	Muy Bueno

La mayoría de los métodos de diseño de espesores, derivados de la prueba AASHO, calculan la cantidad de tránsito que reducirá la calidad de rodamiento del pavimento para un índice de 2.

4.1.6 Velocidad de Aplicación y Repetición de Cargas.

La velocidad de aplicación de las cargas ejerce una importante influencia sobre el pavimento. En general las cargas estáticas o lentas ejercen peores efectos que las más rápidas. Por esto, en los caminos en rampa, es frecuente ver más destruidos los tramos de subida que los de bajada.

En lo que se refiere al concepto repetición, podemos afirmar que éste se da cuando ocurren dos pasadas sucesivas de una misma llanta por

un mismo punto. En caminos suele considerarse que han de pasar dos unidades de un cierto tipo para que se produzca una repetición en el pavimento.

4.2 Métodos de Diseño.

4.2.1 Clasificación:

Existe una enorme variedad de métodos de diseño para los pavimentos. Basta decir que en los -- E.U.A. , por ejemplo, muchos estados tienen sus propios métodos. En otros países, las técnicas de distintas instituciones y estados de los - - E.U.A. se han adoptado con modificaciones más o menos grandes.

En términos generales se puede decir que la confianza que se puede tener en cada uno de ellos depende de la cantidad de comprobaciones experimentales a que hayan sido sometidos. Por otro lado, cada uno de los métodos que existen para proyectar el espesor de un pavimento exige una suficiente cantidad de experiencia y de sentido

común por parte de quien los aplica.

Los métodos existentes pueden ser clasificados en tres grupos:

1) METODOS EMPIRICOS.

En estos métodos el espesor del pavimento se determina basándose en los espesores que la experiencia ha demostrado que son necesarios para cargas por ruedas similares y suelos que dan resultados iguales en ensayos de clasificación. La Agencia Federal de Aviación de los E.U.A., ha desarrollado un método de este tipo.

2) METODOS SEMIEMPIRICOS.

Basados parcialmente en la teoría y parcialmente en la experiencia. En estos métodos se determinan las propiedades fundamentales de la relación esfuerzo-deformación del material que forma la terracería por medio de ensayos de corte y los resultados se emplean aunados a una teoría modificada de la distribución de presiones, la cual se ha encontrado, tiene alguna justificación experimental. Los métodos de

McLeod, Hveem, VRS (Valor Relativo de Soporte), Instituto del Asfalto, pertenecen a este tipo.

3) METODOS TEORICOS.

Estos se basan en un análisis matemático de los esfuerzos y deformaciones a través del pavimento y de la terracería y de las verdaderas características de la función, esfuerzo-deformación de los diversos materiales. Constituyen un ideal que, es muy posible, nunca llegue a lograrse. El método de la Armada de los E.U.A. y el método de Westergarrd (para pavimentos rígidos), pertenecen a este grupo.

Los métodos que describimos en este capítulo serán los de mayor aplicación en nuestro país por la Secretaría de Obras Públicas y que son

- Método basado en el Valor relativo de soporte modificado (V.R.S.)
- Método del Instituto del Asfalto de los E.U.A.

4.2.2 Método del Valor Relativo de Soporte -- (VRS)

GENERALIDADES.

Como la mayoría de las fallas de los pavimentos flexibles tienen como causa principal una rotura al corte de los materiales que forman la estructura del pavimento y de la sustrante, la tendencia moderna es la de efectuar el diseño de dichos pavimentos basándose en ensayos al corte. Esta determinación puede ser llevada a cabo simplemente midiendo la resistencia a la penetración del material, o sea, mediante la determinación del Valor de Soporte de California (CBR= California Bearing Ratio) que es un índice de la resistencia del suelo al corte.

El CBR se obtiene de una prueba de penetración en la cual un vástago de 19.4 cm^2 - - (3 pulg^2) de área se hace penetrar en un espécimen de suelo a razón de 0.127 cm/min (0.025 pul/min); se mide la carga aplicada para penetraciones que varíen en 0.25 cm (0.1 pulg), -

y la presión para tener la misma penetración en un material arbitrario, adoptando como patrón, que es una piedra triturada en la cual se tiene las presiones en el vástago para las penetraciones indicadas en la Tabla siguiente:

PENETRACION		PRESION EN EL VASTAGO	
CM	PULG.	Kg/cm ²	lb/pulg ²
0.25	0.10	70	1 000
0.50	0.20	105	1 500
0.75	0.30	133	1 900
1.00	0.40	161	2 300
1.25	0.50	182	2 600

Quando se trata de proyectar el espesor de los pavimentos flexibles de los caminos por medio del C.B.R., el principal obstáculo que se presenta es el de darle al material en el laboratorio la humedad más conveniente. La precaución de sumergir la muestra totalmente en agua por cuatro días (que es la recomendación para la prueba CBR) es, posiblemente de

masiado conservadora para la generalidad de los casos, y además, en las muestras de laboratorio totalmente sumergidas se producen variaciones - más bruscas en su humedad y su peso volumétrico que las que se producen en la realidad debido a que se tienen en el laboratorio volúmenes más - pequeños. Debido a lo anterior, cuando se vaya a proyectar el espesor de un pavimento flexible mediante el CBR lo más conveniente es remodelar el suelo con diferentes contenidos de humedad y ensayar así los especímenes obtenidos, sin su-
mergirlos. Debido a lo anterior, en el proyec-
to de espesores de pavimentos flexibles el méto-
do del valor relativo de soporte, modificado de
acuerdo con las posibles condiciones de humedad
que pueda llegar a tener, es el que se emplea
Este método se conoce como VRS modificado para-
diferenciarlo del estándar que es el CBR. (ver-
anexo IV. A. prueba VRS)

DESCRIPCION DEL METODO.

Este método, en función del valor relati-
vo de soporte (VRS) del material de la capa su-
brasante y del tránsito diario estimado de vehí

culos con carga igual o mayor de 3 tons., circulando en un sólo sentido, nos da el espesor del pavimento. (Fig. 4.2)

Como el espesor obtenido es el total (Sub-Base Base y Carpeta) es necesario calcular el espesor de cada uno de estos elementos. Para fijar el espesor de cada una de las capas que forman el pavimento flexible, algunas veces se comienza fijando el espesor de la carpeta asfáltica de acuerdo con la tabla que sigue y determinando luego el espesor de la base en función del VRS de la Sub-Base. Restando estos dos valores (Carpeta y Base) del espesor total del pavimento, se obtiene el espesor que se le puede dar a la sub-base.

Las tablas 4.1 y 4.2 nos recomiendan el espesor de la carpeta, en base a la intensidad del tránsito y tipo de Carpeta Asfáltica,

En caso de que se fuera hacer uso del CBR para proyectar los espesores del pavimento se puede emplear la gráfica contenida en la Fig. 4.3.

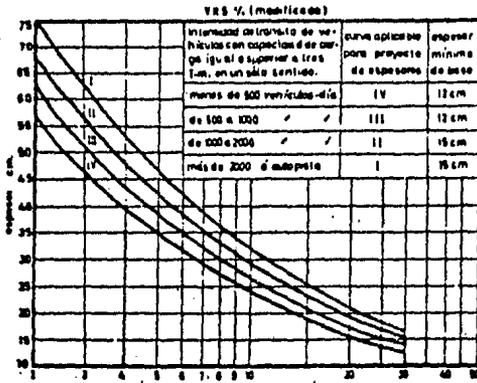


FIGURA 4.2 VRS % MODIFICADO

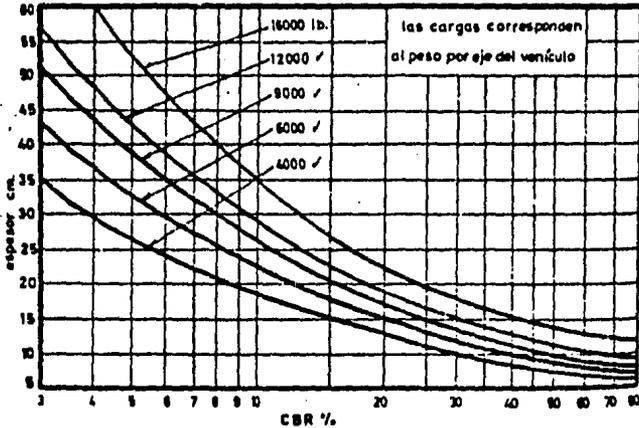


FIGURA 4.3 CBR %

TABLA 4.1

Tipo de Carpeta Asfáltica	ESPESOR DE LA CARPETA EN CENTIMETROS				
	Tránsito muy liviano	Tránsito liviano	Tránsito medio	Tránsito pesado	Tránsito muy pesado
Tratamiento Superficial Simple	1	1	-	-	-
Tratamiento Superficial Doble	1.5	1.5	1.5	-	-
Mezcla en el Lugar	2	3	4	6	-
Mezcla en planta dosifi- cada por volu- men	2	3	4	6	-
Concreto asfál- tico, dosifica- do en planta -- por peso y con C.A.	2	3	4	6	8

TAJLA 4 . 2

Clasificación del Tránsito	DENSIDAD DEL TRANSITO (1)	
	Volumen diario de carros de pasaje y camiones livianos (2)	Volumen diario de camiones comerciales y autobuses (3)
Muy liviano	menos de 50	ninguno
Liviano	menos de 300	menos de 20
Medio	menos de 2000	menos de 50
Pesado	más de 2000	menos de 500
Muy pesado	más de 2000	más de 500

(1) El volumen diario de tránsito incluye el número total de vehículos en ambas direcciones.

(2) Se refiere a camiones livianos de 3000 kg. de carga por eje.

(3) Camiones con más de 3000 kg. de carga por eje.

4.2.3 Método del Instituto del Asfalto de los Estados Unidos.

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

Ya una vez teniendo los datos anteriores podemos obtener el Número Inicial de Tránsito (ITN) utilizando el nomograma de la figura 4.4 de la siguiente forma: fíjese en la escala D el valor medio de la carga de los camiones. Unase ese punto con el número de camiones pesados en el carril de diseño sobre el eje C. La línea anterior deberá prolongarse hasta cortar el eje B.

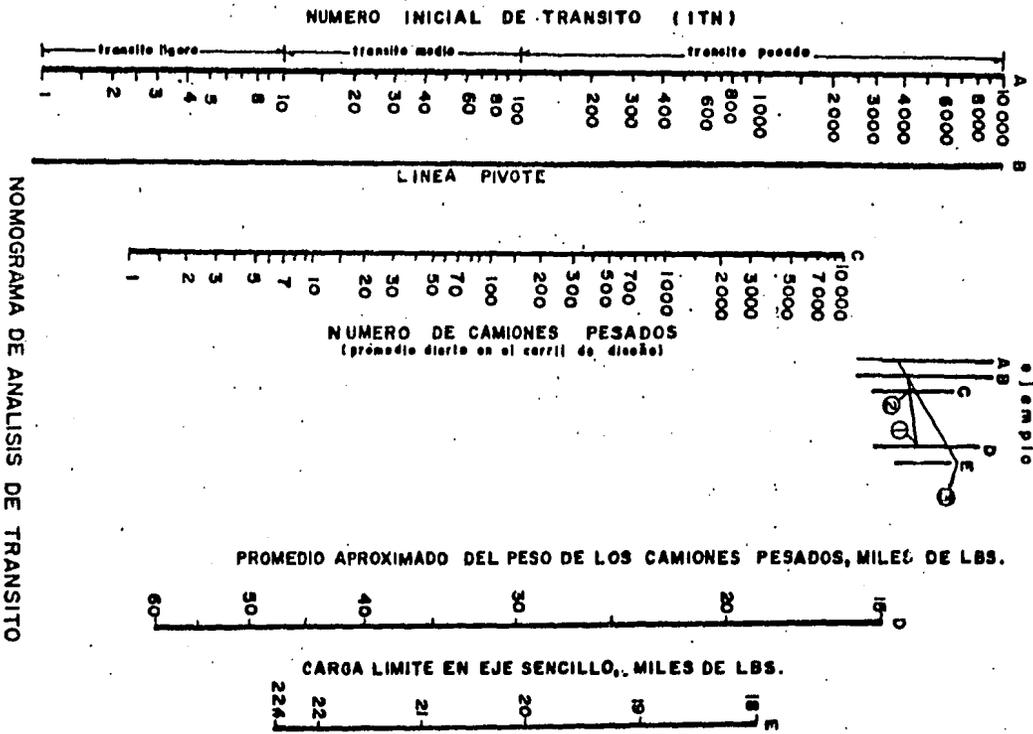


FIGURA 4.4

Fijese ahora en el eje E el límite de carga legal para eje sencillo prevaleciente; este punto deberá unirse con el anterior encontrado sobre el eje B y esa línea deberá prolongarse hasta el eje A, sobre el que podrá leerse el Número Inicial de Tránsito (ITN).

La tabla 4.3 da los factores de corrección que deberá aplicarse al número de tránsito inicial, en función del período de diseño y de la tasa anual de crecimiento del tránsito, de manera que el producto de las dos cantidades es el número de tránsito de diseño (DTN)

$$DTN = ITN \times \text{Factor de Corrección}$$

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

Finalmente, ya una vez determinado el valor re-

TRANSITO INICIAL (ITN)

Periodo de Diseño en Años (n)	TASA DE CRECIMIENTO ANUAL, POR CIENTO(r)					
	0	2	4	6	8	10
1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
2	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
4	0.20	0.21	0.21	0.22	0.22	0.23
5	0.30	0.32	0.33	0.35	0.37	0.39
8	0.40	0.43	0.46	0.50	0.53	0.57
10	0.50	0.55	0.60	0.66	0.72	0.80
12	0.60	0.67	0.75	0.84	0.95	1.07
14	0.70	0.80	0.92	1.05	1.21	1.40
16	0.80	0.93	1.09	1.28	1.52	1.80
18	0.90	1.07	1.28	1.55	1.87	2.28
20	1.00	1.21	1.49	1.84	2.29	2.86
25	1.25	1.60	2.08	2.74	3.66	4.92
30	1.50	2.03	2.80	3.95	5.66	8.22
35	1.75	2.50	3.68	5.57	8.62	13.55

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

lativo de soporte y el DTN; obtenemos el espesor requerido de pavimento, en términos de concreto-asfáltico utilizando los nomogramas de la Fig.--
4.5

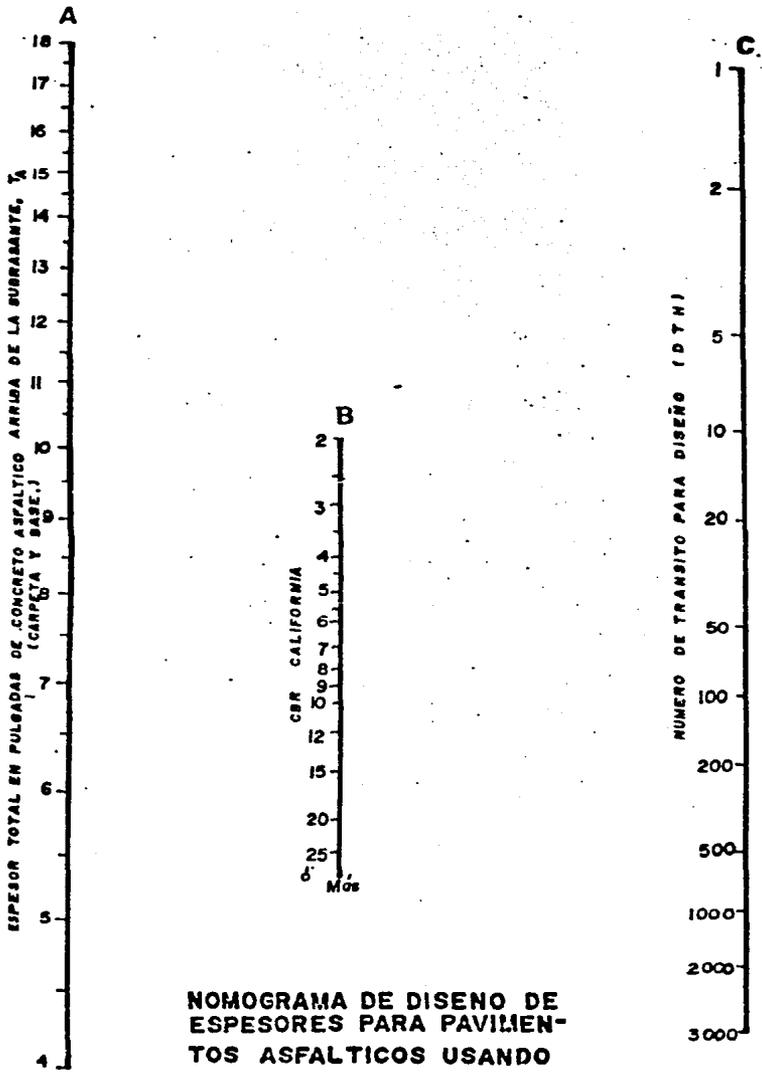
El Instituto del Asfalto da el espesor necesario de cubrimiento sobre un material determinado en términos de un espesor de concreto asfáltico, el cual debe ser convertido en una estructuración más convencional utilizando los siguientes factores de equivalencia:

Bases Granulares de Alta Calidad ($VRS > 100$) = 2.0

Bases Granulares de Baja Calidad ($VRS > 20$) = 2.7

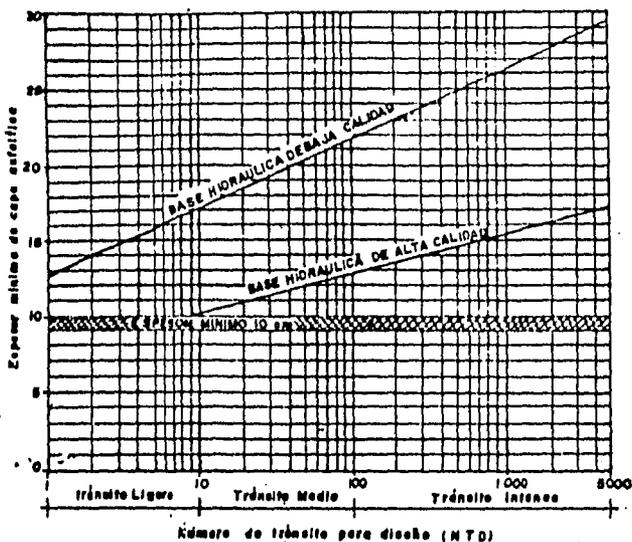
El espesor mínimo de carpeta asfáltica que propone el Instituto del Asfalto se observa en la Fig 4.6.

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



NOMOGRAMA DE DISEÑO DE ESPESORES PARA PAVIMENTOS ASFALTICOS USANDO LA PRUEBA DEL CBR O LA PRUEBA DE PLACA.

FIG. 4.5



REQUISITOS MINIMOS PARA MATERIALES DE BASES HIRPAULICAS

TIPO DE PRUEBA	NORMAS	
	BAJA CALIDAD	ALTA CALIDAD
VRS Mínimo	20	100
Valor de R Mínimo	55	80
Límite Líquido Máximo	25	25
Índice Plástico Máximo	6	NP
Equivalente de Arena Mínimo	25	50
Máximo % de Material que pasa Malla No. 200	12	7

FIG. 4.6 ESPESORES MINIMOS DE CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO SOBRE BASES GRANULARES, SEGUN EL INSTITUTO NORTEAMERICANO DEL ASFALTO.

lencia.

1" de concreto asfáltico = 2" de base hidráulica

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

ANEXO IV.A: Prueba de Valor Relativo de Soporte Modificado (VRS)

La prueba consiste en medir la resistencia a la penetración en espécimenes de material compactado por medio de cargas aplicadas con una máquina de compresión, para reproducir los pesos volumétricos correspondientes a diferentes grados de compactación empleando varias humedades.

A continuación se da una explicación de los pasos necesarios para verificar la prueba:

a) Equipo

El equipo usado en la preparación y ensayos de espécimenes remoldeados es el que sigue:

- Molde cilíndrico de 15.2cm (6 plg) de diámetro y de 20.3 cm (8 pulg) de altura. Un collarín o extensión de 2 pulg. de altura.

- Vástago de 19.4 cm^2 (3 pulg²) de área y --
aprox. 10 cm de longitud.

- Máquina de prueba o gato de tornillo con -
su marco especial que pueden usarse cual-- -
quiera de los dos, para introducir el pistón
en el espécimen con una velocidad de 0.127 -
cm/min. (0.05 pulg. por minuto)

b) Preparación de la Muestra.

La muestra llevada al laboratorio debe expo-
nerse al sol, extendiendo todo el material -
sobre una superficie limpia y tersa, o bien-
disminuir la humedad en un horno a temperatu-
ra de 40 a 50 °C. en ambos casos es convenien-
te voltear el material para lograr una dismi-
nución de humedad más rápida y uniforme has-
ta obtener una que permita la fácil disgrega-
ción y manejo de la muestra.

Cuando la muestra llegue al laboratorio con-
una humedad que permita su disgregación no -
será sometida al proceso de secado anterior-
mente citado. Como el material a ensayar --

puede ser fino o grueso, es necesario tomar en cuenta ello de la siguiente manera:

- Material Fino.- El procedimiento de prueba que sigue debe emplearse en los suelos que pasen por la malla #4, cuando más tengan un retenido de 10%, en esta malla, pero que pasen totalmente por la malla de 3/8". Si el retenido en la malla #4 es menor del 10% y dicho material pasa por la malla de 3/8", el retenido puede incluirse para efectuar las pruebas necesarias.

" - Material con Agregado Grueso.- Si la muestra original contiene material mayor del 3/4" será necesario sustituir este retenido por una cantidad igual en peso de material pétreo que pase la malla de 3/4" y se retenga en la de 1/4".

c) Determinación de las Humedades de Prueba.

Para obtener las humedades correspondientes a cada uno de los pesos volumétricos secos, a los cuales va a hacerse la penetración, es necesario verificar previamente en el caso de -

los suelos finos, la prueba Proctor de 30 golpes y en el caso de los suelos con agregado grueso, la prueba Porter Estándar con el objeto de conocer el peso volumétrico máximo y la humedad óptima.

De acuerdo con las condiciones de precipitación pluvial de la region y drenaje del camino, se seleccionan las humedades de prueba haciendo uso de la tabla siguiente:

<u>% C.*</u>	<u>BD y PPB ó PPM*</u> (VARIANTE 1)	<u>DD y PPM ó PPA*</u> (VARIANTE 2)
100	Wo	Wo
95	Wo	Wo + 0.015
90 - 75	Wo	Wo + 0.030

* %C. = Porcentaje de Compactación

* BD y PPB ó PPM = Buen Drenaje y Precipitación Pluvial baja o media

* DD y PPM ó PPA = Drenaje Deficiente y Precipitación Pluvial Media o Bien Precipitación Pluvial Alta.

d) Cálculo de la cantidad de agua que deberá agregarse.

Del material ya preparado, se tomará una muestra representativa para la determinación de la humedad. A esta humedad que contiene la muestra la llamaremos W_1 . La cantidad de agua que hay que agregar para llevar la muestra a la humedad de prueba W_2 , se calcula por la fórmula:

$$\text{C.C. de Agua} = K \frac{W_2 - W_1}{1 + W_1}$$

En la cual:

K = Cantidad en gramos de material con la humedad que contiene W_1 . Esta cantidad deberá ser de 5 000 gr. por lo menos.

W_1 = Humedad inicial que contiene el material, expresada en decimales no en porcentaje.

W_2 = Humedad a que deberá hacerse la prueba, correspondiente al grado de compactación que se desea reproducir, expresada en decimales.

El cálculo anterior deberá hacerse para cada uno de los grados de compactación fijados.

- e) Cálculo de las Cantidades de Material que Deberán emplearse.

Para conocer el peso de material húmedo que debe ser compactado se hace uso de la siguiente fórmula:

$$Ph = \frac{\gamma_s}{1000} (1+W2) 0.786d^2h$$

Siendo:

Ph = Peso del material húmedo (gr), con la humedad de prueba.

γ_s = Peso volumétrico seco en kg/m^3 , correspondiente al grado de compactación que se desea reproducir.

W2= Humedad a que deberá hacerse la prueba, expresada en decimales no en porcentaje.

d= Diámetro interior del cilindro de compactación (cm)

h= Altura en cm que deberá tener el material compactado e igual a la altura del cilindro

dro sin la extensión.

El cálculo anterior deberá hacerse para cada uno de los grados de compactación fijados.

f) Incorporación del Agua y Compactación.

Después de haber hecho la determinación del peso volumétrico seco máximo y la humedad óptima del material sobrante se toman por cuarteos --- muestras de 5 kg cada una. Una de ellas deberá ser compactada al peso volumétrico seco máximo, con la humedad óptima, debiendo agregarsele la cantidad necesaria de agua para que alcance dicha humedad.

Inmediatamente después de que sea incorporada el agua y mezclada hasta lograr una distribución uniforme de ella, se toma la cantidad de material húmedo Ph correspondiente al 100% de compactación.

La cantidad Ph de material se coloca en tres capas dentro del molde de prueba de 6" x 8", con-

el collarín puesto, y a cada una de las capas se le dan 25 golpes con varilla de 1.9 cm - - (3/4") de diámetro.

Se coloca el molde en la máquina de prueba y se compacta el material con cargas aplicadas uniforme y lentamente, hasta alcanzar la altura h prefijada.

El espécimen ya compactado se sujeta a la prueba de penetración; de igual forma se procede con las muestras compactadas al 95%, 90% y 85%, siguiendo las recomendaciones de humedad presentadas en la tabla del inciso C).

g) Medición de la Resistencia a la Penetración.

Estando el material ya compactado, inmediatamente se colocan sobre el espécimen las placas de carga con orificio central; El pistón para la prueba de penetración debe pasar a través de los orificios de las placas hasta tocar la superficie de la muestra; se aplica una carga inicial que no sea mayor de 10kg, e-

inmediatamente después sin retirar la carga, se ajusta el extensómetro de carátula para registrar el desplazamiento vertical del pistón. Se procede a la aplicación lenta de cargas continuas con pequeños incrementos y se anotan las cargas correspondientes a cada una de las siete penetraciones indicadas en la tabla siguiente:

	PENETRACIONES		CARGAS REGISTRADAS KG.
	M M	PULGS	
1a	1.27	0.05	-
2a	2.54	0.10	-
3a	3.81	0.15	-
4a	5.08	0.20	-
5a	7.62	0.30	-
6a	10.16	0.40	-
7a	12.70	0.50	-

h) Cálculo del Valor Relativo de Soporte

La carga registrada para la penetración de 2.54 mm (0.1"), se debe expresar como un porcentaje de la carga estandar $70\text{Kg}/\text{cm}^2$ ($1000\text{ lb}/\text{pulg}^2$), el cual representa el Valor Relativo de Soporte correspondiente a la muestra ensayada.

ANEXO IV B. SECCIONES TÍPICAS

En el presente anexo, se contempla en forma gráfica, los anchos de vía y las estructuras más comúnmente utilizadas en el diseño de pavimentos flexibles.

La combinación de los esquemas de este anexo, nos propondría un diseño rápido, aunque simplista de un pavimento flexible.

Dichos esquemas nos presentan:

- Fig. IV B1

ANCHOS DE VIA TÍPICOS

- Fig. IV B2

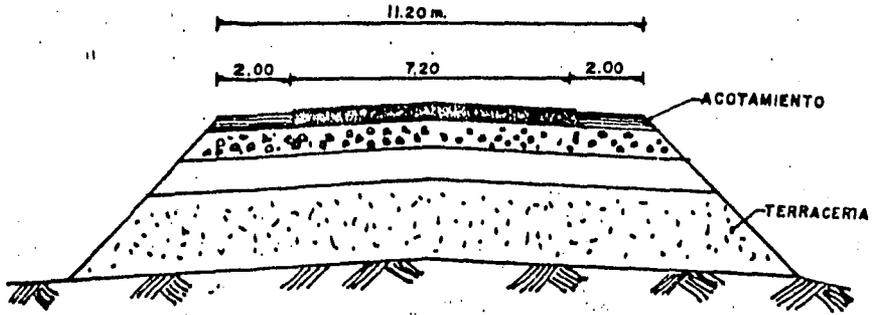
ESTRUCTURAS TÍPICAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE

PARA DIFERENTES TIPOS DE TRANSITO CARRETE

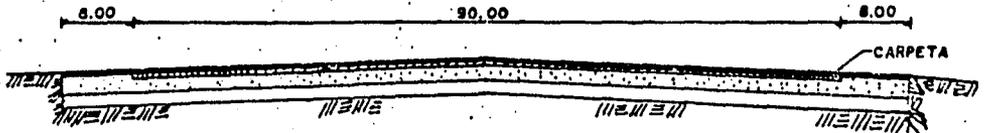
RO.

I) ANCHOS DE VIA TÍPICOS

CARRETERA.
(DOS VIAS).



AEROPUERTOS.



CALLES.

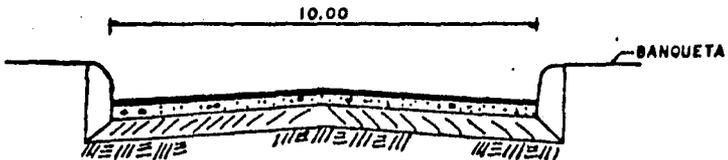
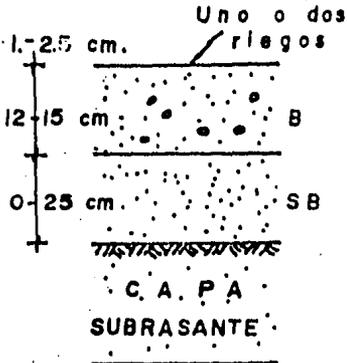


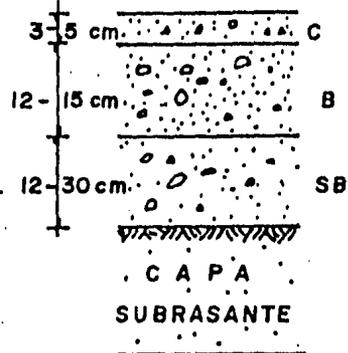
FIG. IV. 6.1

ESTRUCTURAS TÍPICAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE
PARA DIFERENTES TIPOS DE TRANSITO CARRETERO.

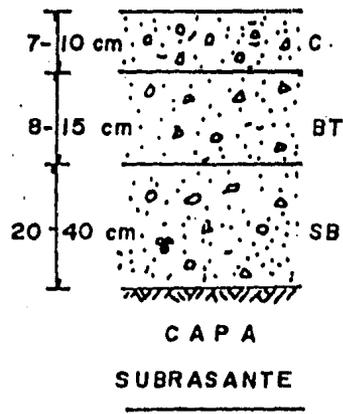
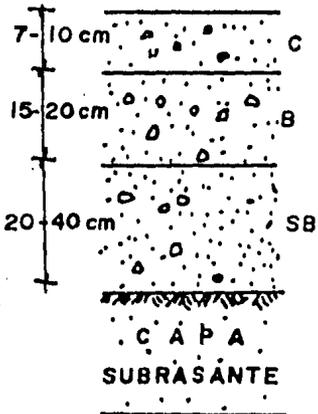
LIGERO



MEDIANO



PESADO



EL ESPESOR DE LA CAPA SUBRASANTE VARIA ENTRE 30 Y 50 cm.

(FIG. IV. B. 2)

C A P I T U L O V

V.- CONSTRUCCION.

Como lo haremos notar en el capítulo VI; en la etapa relativa a la construcción se encuentra el 60% de las causas de falla en pavimentos. De ahí la importancia que representa para el Ingeniero el conocer a detalle todo el proceso inherente a esta etapa, con la finalidad de minimizar las condiciones de colapso en los pavimentos.

En el presente capítulo se incluyen las recomendaciones y especificaciones de construcción relativas a las diferentes capas que comprenden la estructura de los pavimentos flexibles.

5.1 Terraplenes.

La construcción de un terraplén, comprende por lo general las operaciones de esparcir, mojar, dar forma y compactación de la tierra destinada, de acuerdo con las prácticas ingenieriles perfectamente establecidas.

ESPARCIMIENTO DE LA TIERRA.

A medida que se coloca la tierra para el terraplén, es necesario esparcirla en capas de espesor uniforme manteniendo una superficie razonablemente plana. Aunque puede usarse un bulldozer para esta operación, puede obtenerse mejores resultados utilizando una motoconformadora, especialmente al final de la operación. (Fig . 5 1)

Las conformadoras pueden especificarse por la potencia del motor, por la longitud de la cuchilla y por el número de ejes motrices, uno para cada eje y en tandem para dos. Algunas están equipadas con dientes escarificadores ajustables adelante de la cuchilla, para aflojar la tierra antes de conformarla.

La cuchilla puede colocarse a la profundidad que se desee, y girarse a cualquier posición requerida, para empujar la tierra hacia adelante o a un lado.

COMPACTACION

Para aumentar la densidad y la resistencia de la tierra de un terraplén, es necesario apisonarla o

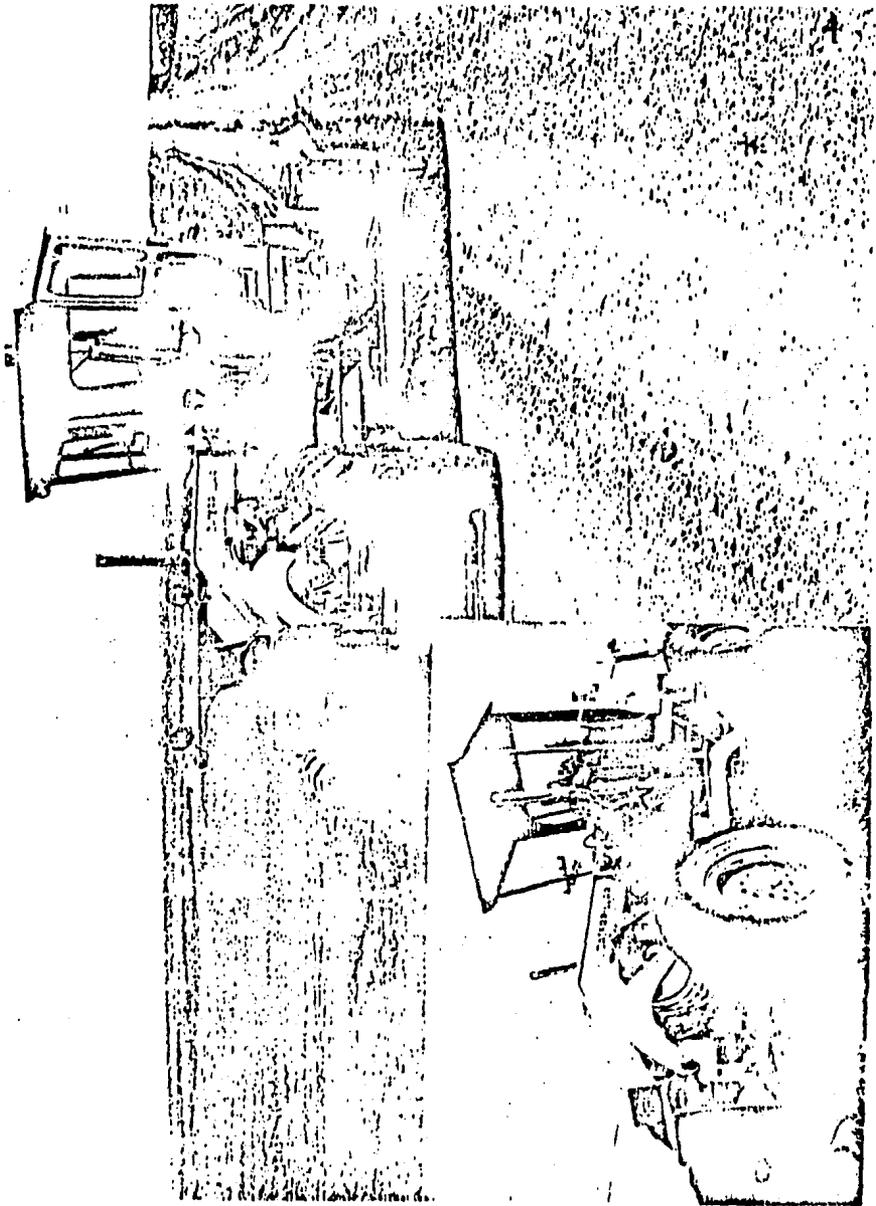


FIG. 5.1

MOTOCONFORMADORA

compactarla. Si el contenido de agua no es el especificado, deberá agregarse agua para facilitar la compactación. Existen varios tipos de equipo para compactar, los cuales incluyen rodillos pata de cabra, las rejillas, rodillos lisos y llantas neumáticas. (Figs. 5.2, 5.3, 5.4 y 5.5).

El número de pasadas que se requiere para producir una compactación especificada, será de acuerdo con la clase de material, el espesor de las capas, la cantidad de humedad presente y según el peso del rodillo.

5.2 Sub-Bases y Bases

El procedimiento constructivo para las Sub-Bases y Bases se realiza en forma semejante, por tal motivo, las actividades indicadas a continuación se consideran para ambas capas.

TENDIDO.

Esta operación puede efectuarse utilizando motoconformadoras o por medio de una extendedora de carpeta asfáltica.



FIG. 5.2 COMPACTADORA
"PATAS DE CABRA"

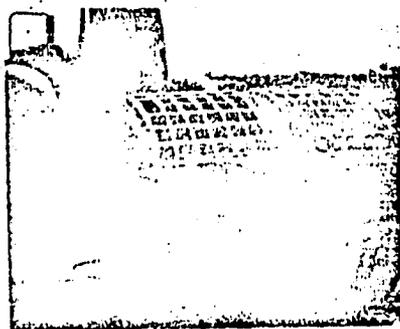


FIG. 5.3 COMPACTADORA
"DE REJILLAS"

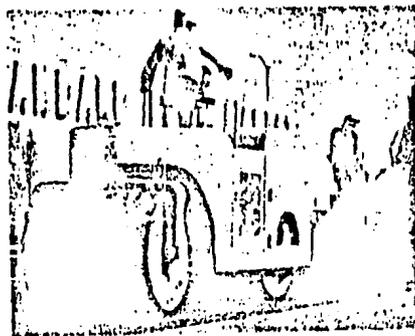
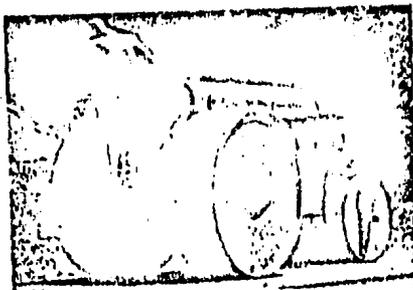


FIG. 5.4

COMPACTADORAS DE RODILLOS LISOS

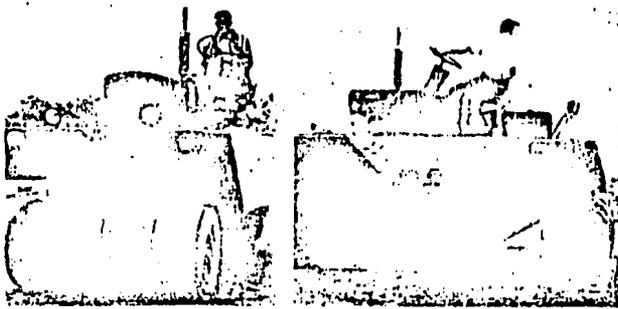


FIG. 5.5 COMPACTADORA DE LLANTAS

En el primer caso, al igual que en los terraplenes, se esparce el material por medio de las moticonformadoras, hasta el espesor prefijado.

El segundo procedimiento contempla la utilización de una extendidora de carpeta asfáltica equipada con control electrónico y dotada de un área de acabado suficiente para extender espesores hasta de 25 cm. Este procedimiento es muy recomendable para Sub-Bases y Bases estabilizadas, el único inconveniente es el gran desgaste de la extendidora, - - cuando no se maneja un producto asfáltico, hace que este procedimiento resulte caro.

COMPACTACION

La compactación de estas capas tiene una decisiva influencia en la calidad y tiempo de vida del pavimento. Una compactación eficiente incrementa sustancialmente el valor relativo de soporte y la estabilidad del material, mejora la impermeabilidad en la mayoría de los casos, proporcionando al suelo la suficiente capacidad para soportar las cargas -- del tránsito.

En la compactación de Sub-Bases y Bases de pavimento es muy común la utilización de rodillo liso o aplanadora de tres ruedas de 10 a 12 pulgadas

La forma en que generalmente se procede para la compactación de Sub-Bases y bases es la siguiente:

" Sobre la capa de material tendido se procede a dar una pasada a todo el ancho del revestimiento haciéndolo de las orillas al centro y desplazando la máquina el ancho total de ella, procurando ir borrando la huella de la anterior pasada.

Estas operaciones se hacen a una velocidad baja para ir apretando el material lentamente; pues en muchas ocasiones se desplaza el material por estar muy flojo. A esta pasada se acostumbra llamarle "A toda Máquina".

Las siguientes pasadas se acostumbra darlas en la misma forma de las orillas al centro, desplazando la máquina un ancho igual a la mitad del ancho del rodillo. Se acostumbra llamar a esta operación pasadas a "Media Máquina"

Generalmente casi todos los materiales pueden compactarse con las operaciones descritas con un número de pasadas que varían entre 2 y 5.

Cuando ni con 5 pasadas a Media Máquina se alcanza la compactación que se pide; hay que pensar que son otras las causas por las que no se compacta el material, tales como una mala granulometría, una humedad dispareja, mala cementación o poca efectividad del rodillo liso para ese material.

5.3 Carpetas Asfálticas.

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

Todas estas características deben de observarse al finalizar el proceso constructivo sin importar el método aplicado.

Las carpetas asfálticas empleadas en los pavimen -

tos flexibles se pueden clasificar así:

- Tratamientos Superficiales. De uno, dos y tres riegos.
- Mezcla en el lugar.
- Concreto asfáltico. Dosificado por peso en Planta
- Mezcla en Planta dosificada por volumen.
- Macadam Asfáltico.

En el presente capítulo se desarrolla el proceso constructivo empleado en las tres primeras carpetas asfálticas.

5.3.1 Especificaciones de los Materiales Pétreos para carpetas asfálticas.

La manera comúnmente empleada de hacer uso del asfalto en la elaboración de carpetas para caminos, es mezclándolo con un agregado pétreo de características conocidas. Sin embargo, no cualquier tipo de agregado pétreo puede emplearse en forma adecuada para formar carpeta.

En general, los materiales pétreos para carpetas asfálticas deben llenar los siguientes requisitos:

- a) No deben emplearse agregados pétreos que presenten más del 5% en peso, de fragmentos en forma de lajas o que tengan marcada tendencia a romper en forma de lajas cuando se les tritura.

- b) No deben emplearse agregados pétreos que contengan materia orgánica en forma perjudicial o arcilla en grumos.

- c) Los agregados pétreos no deben tener más del 20% de fragmentos suaves.

- d) Los agregados pétreos deben emplearse de preferencia secos o cuando mucho con humedad igual a la de absorción de ese material. En caso contrario, debe emplearse un adicionante en el asfalto

- e) El tamaño máximo del agregado pétreo no deberá ser mayor que las 2/3 partes del espesor de la carpeta proyectada.

- f) Tener suficiente resistencia para soportar, sin romperse, las cargas del equipo de compactación.

- g) La porción que pase la malla #40 no debe tener--

una contracción lineal mayor de tres.

h) Los materiales pétreos deben llenar características granulométricas tales que su curva graficada debe quedar dentro de las zonas marcadas por las curvas de las figuras 5.6 y 5.7, así como la tabla 5.1 para tratamientos superficiales.

i) La absorción del material pétreo no debe ser mayor de 3%

j) La densidad aparente del material pétreo no debe ser menor de 2.3

k) El material pétreo debe tener buena adherencia con el asfalto.

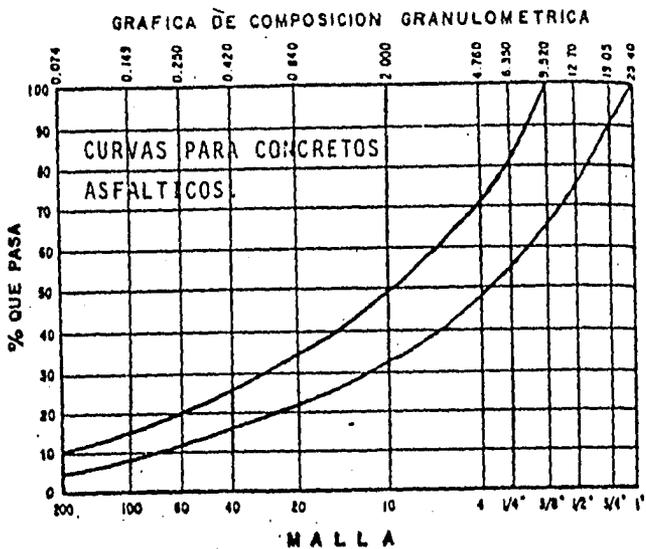


FIGURA 5.6.

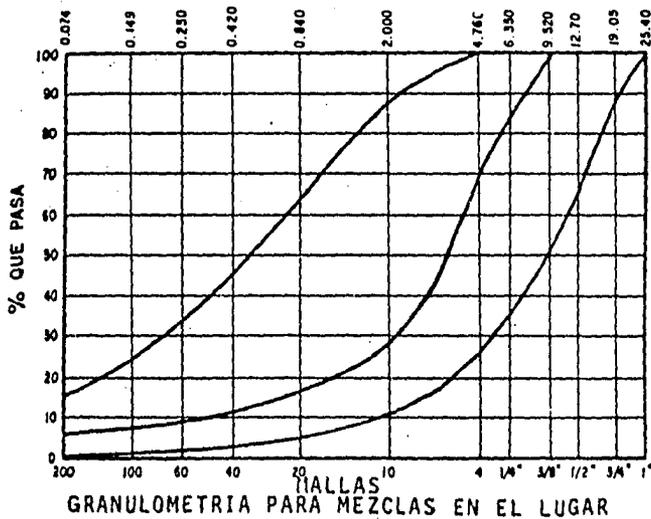


FIGURA 5.7

T A B L A 5 . 1

GRANULOMETRIA PARA TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

MATERIAL No.	PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA	
0	2"	100
	1 - 1/2"	95 +
	1"	5 -
	1/2"	0
	1 - 1/4"	100
1	1"	95 +
	1/2"	5
	1/4"	0
	3/4"	100
2	1/2"	95 +
	1/4"	5 -
	No. 8	0
	1/2"	100
3A	3/8"	95 +
	No. 8	10 -
	No. 40	2
	3/8"	100
3B	1/4"	95 +
	No. 8	10 -
	No. 40	2 -

5.3.2 Tratamientos Superficiales.

1) TRATAMIENTO DE UN RIEGO.

Sobre la base de pavimento ya conformada, compactada, impregnada y seca, se procede de la siguiente forma:

- Se da un riego de producto asfáltico del tipo FR-3 a razón de 1.5 a 2 litros por metro cuadrado.
- Se cubre con material pétreo número 3A a razón de 6 a 8 litros por metro cuadrado.
- Se rastrea para uniformar la superficie.
- Se compacta con plancha liviana de 5 a 8 tm.
- Barrer de la superficie el material pétreo sobrante para evitar que vaya a ayudar a formar ondulaciones en la carpeta.

Esta carpeta asfáltica es aconsejable para tránsito inferior a 200 vehículos por día.

2) TRATAMIENTO DE DOS RIEGOS.

Sobre la base preparada, se procede a:

- Se da un riego de producto asfáltico tipo FR-3 a razón de 2 litros por metro cuadrado.

- Se cubre con material pétreo número 2 a razón de unos 12 a 14 litros por metro cuadrado.
- Se rastrea y se plancha con aplanadora liviana de 5 a 8 tm de peso.
- Dos o tres días después se barre y se da un nuevo riego de producto asfáltico tipo FR-3 a razón de 1.5 a 2 litros por metro cuadrado.
- Se cubre inmediatamente con material pétreo - # 3B
- Se rastrea para uniformar la superficie, y se plancha con aplanadora pequeña de 5 a 8 tm de peso.

Tres días después puede abrirse el tránsito. Posteriormente debe retirarse el material pétreo sobrante. Este tipo de Carpeta Asfáltica es aconsejable para un tránsito inferior a 600-vehículos por día.

3) TRATAMIENTO DE TRES RIEGOS.

Sobre la base preparada se prosigue a:

- Dar un riego de producto asfáltico del tipo FR-3 a razón de 2.5 por metro cuadrado.

- Inmediatamente se cubre con material pétreo - número 1 a razón de 20 a 22 litros por metro-cuadrado.
- Se rastrea y se plancha con aplanadora pequeña de 5 a 8 tm de peso.
- Dos o tres días después se barre el material-pétreo sobrante y se coloca una carpeta de -- dos riegos sobre ésta.

Esta carpeta asfáltica admite perfectamente - - bien los 1 000 vehículos por día.

5.3.3 Mezcla en el Lugar.

La mezcla asfáltica en el lugar o en el camino - se lleva a cabo revolviendo los agregados pétreos con el producto asfáltico mediante el uso de motoconformadoras o empleando mezcladoras ambulantes (Fig. 5.8)

El procedimiento a seguir es el siguiente:

- Estando la base conformada, compactada, impregnada y seca, se acordonará el material pétreo.
- Se extenderá en una capa de espesor uniforme a lo largo del camino y se darán riegos sucesivos de producto asfáltico a razón de 3 a 4 litros por metro cuadrado hasta completar la cantidad determinada como óptima.
- Después de cada riego de producto asfáltico sobre el material pétreo, se procederá a voltear éste con la motoconformadora con el objeto de que se mezcle bien.
- Al terminar el proceso del mezclado, se acordona el material a un lado.
- Se da a la base un riego de liga de 0.5 litros por metro cuadrado de FR-3



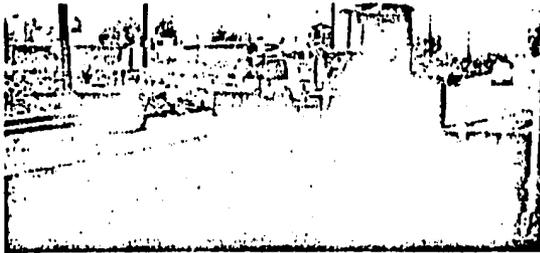
Material pétreo amontonado para formar carpeta asfáltica



Material pétreo acordonado



Mezclando el material pétreo con el asfalto



Extendiendo la mezcla con la motoconformadora

FIG. 5.8 MEZCLA EN EL LUGAR

- Inmediatamente se tiende la mezcla, se conforma cuidadosamente y se le da una planchada ligera para acomodarla simplemente.
- Se deja pasar el tiempo necesario para que el producto asfáltico alcance la mayor parte de su fraguado procediendo después a su compactación.

Cuando se usen mezcladoras ambulantes, el material pétreo se acordonará a lo largo del camino para que pueda ser recogido por la mezcladora dentro de la cual, se le adicionará y revolverá la cantidad de producto asfáltico necesario.

Estando la mezcla bien revuelta en la máquina, se da a la base el riego de liga de 0.5 litros de FR-3 por metro cuadrado y se procede al tendido, conformado y planchado como ya se indicó con anterioridad.

5.3.4 Concreto Asfáltico.

ELABORACION

Los concretos asfálticos son mezclas elaboradas por peso en plantas estacionarias, calentan

do los agregados y empleando en su elaboración cementos asfálticos. Los concretos asfálticos, debido a la precisión de su dosificación resultan de alta calidad. El agregado pétreo para la mezcla es secado y calentado entre 133°C y 177°C en la planta antes de entrar en la mezcladora. (Fig. 5.9

El Material Pétreo dosificado se introduce en la mezcladora y a continuación se añade el cemento asfáltico para proceder al mezclado. El cemento asfáltico se calienta con pailas o tanques apropiados que produzcan calentamiento uniforme.

No deberá calentarse a más de 177°C .

TRANSPORTE Y DISTRIBUCION DE LA MEZCLA

La mezcla será transportada de la planta al lugar de uso en camiones de volteo. La mezcla se descargará en la terminadora, a una temperatura comprendida entre 135°C y 177°C , solo se extenderá sobre la base cuando ésta esté seca. Antes de empezar la operación, la base deberá barrerse o limpiarse por medio de aire a presión hasta que no quede ningún material suelto sobre la calzada.

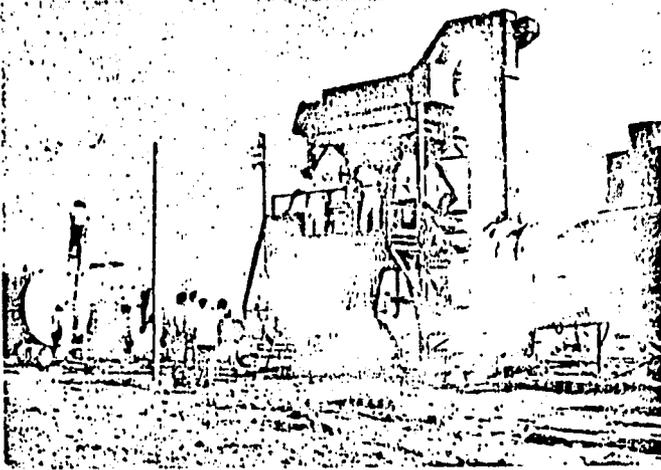


FIG. 5.9. MEZCLA EN PLANTA

La mezcla se esparcirá en fajas de 3 a 3.60 metros de ancho, en capas de espesor uniforme, -- por medio de una máquina terminadora con una velocidad de 3 a 6 metros por minuto, que no produzca arranques o desgarramientos en la capa de mezcla-asfáltica que se está extendiendo.

La colocación de la mezcla será tan continua como sea posible.

COMPACTACION

La compactación de mezclas asfálticas se logra fácilmente cuando se lleve a cabo a la temperatura adecuada, ésta debe iniciarse tan pronto como sea posible después de extendida la mezcla.

El espesor de la carpeta influye en el grado de dificultad para compactarla; entre más delgado sea el espesor, más pronto pierde la temperatura y por lo tanto su compactación debe efectuarse inmediatamente después del extendido: Por lo contrario, si el espesor es de 7 cm o más, la pérdida de temperatura es más tardada, proporcionando mayor tiempo para compactar.

La operación de compactado puede dividirse -
en tres fases:

1) PLANCHADO INICIAL.

Durante esta fase se debe lograr casi totalmen-
te la compactación; el equipo utilizado es la plan-
cha de ejes en tandem y la plancha metálica de - -
tres llantas.

2) PLANCHADO INTERMEDIO..

Se desarrolla mientras la mezcla asfáltica man-
tiene algo de su plasticidad y temperatura; el e--
quipo que se emplea son rodillos de neumáticos, ya
que tienden a cerrar la superficie, por lo cual --
contribuyen a la impermeabilidad de la carpeta y a
comodan las partículas de los agregados por lo que
aumentan la estabilidad.

3) PLANCHADO FINAL.

Su única finalidad consiste en borrar las hue--
llas del equipo que trabajó en las fases anterio--
res, el equipo que se emplea son las planchas de e
jes tandem.

Finalmente, la carpeta después de la última compactación cumplirá con los siguientes requisitos:

- Estará conforme con el trazado, razante y sección-tipo de planos.
- El espesor será el especificado y en ningún punto variará en más de 0.5 cms.
- Cualquier lugar defectuoso o bajo, será inmediatamente remediado, sacando la carpeta en dichos lugares y colocando nueva mezcla caliente.
- La superficie estará libre de depresiones que excedan de 0.3cm. cuando se mida con una regla recta de 3m paralela al eje de la carretera.
- No se permitirá ningún tránsito sobre la superficie terminada mientras no haya enfriado completamente.

5.4 Tratamientos Adicionales.

Durante la conformación de los Pavimentos Flexibles, se hace indispensable el tratamiento complementario a las diversas capas que los componen. (Fig. 5.10)
Entre los principales mencionaremos los siguientes:

TRATAMIENTOS ADICIONALES

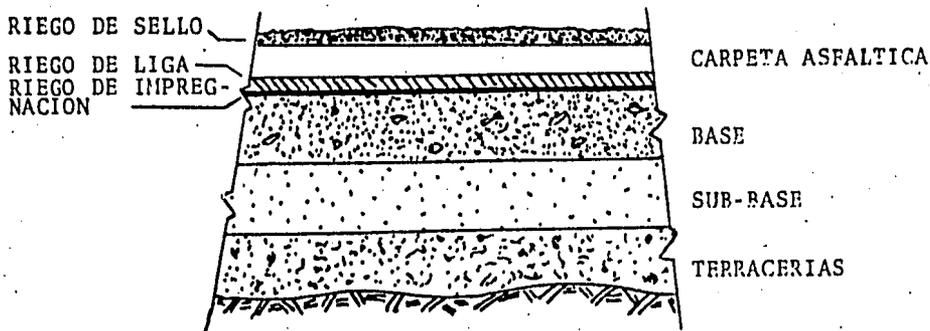


FIG. 5.10

- Riegos de Impregnación
- Riegos de Liga
- Riegos de Sello

5.4.1 Riego de Impregnación.

Consiste en la aplicación de un producto afáltico rebajado de fraguado medio o lento, sobre la base terminada, a razón de 0.8 a 2.0 Lt/M², quedando después de que penetre el asfalto, una superficie protegida temporalmente y además como una preparación para colocar sobre ésta otro tratamiento asfáltico.

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

5.4.2 Riego de Adherencia o Liga.

Se emplea para obtener buena adherencia entre la superficie existente y la nueva que se vaya a colocar. Este riego, para cumplir bien con su cometido, debe-

rá ser muy ligero y uniforme en toda la superficie.

Se emplea un rebajado asfáltico de fraguado rápido o una emulsión asfáltica de rompimiento rápido en una proporción de 0.2 a 0.6 Lt/M²..

5.4.3 Riego de Sello

Este tratamiento superficial (Fig. 5.11) se emplea generalmente para:

- Sellar superficies de un pavimento
- Rejuvenecer una superficie
- Llenar las grietas existentes en los pavimentos, para evitar la penetración del agua a las capas inferiores.
- Corregir ligeras deformaciones o un principio de desgregación del pavimento.
- Obtener una superficie no deslizante empleando agregados granulares, resistentes al desgaste.
- Mejorar la visibilidad por contraste de colores.

En los Riegos de Sello se emplean generalmente un rebajado asfáltico de fraguado rápido o una emul-

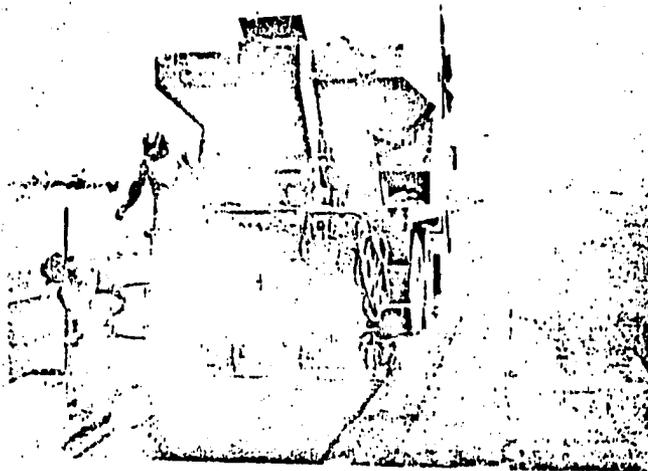


FIG. 5.11 RIEGO DE SELLO

si3n asfáltica de rompimiento rápido (1.4 a 2.31 -
Lt/M²); con agregados granulares del #3, en propor-
ci3n especial para cada uso específico en que se-
emplee.

C A P I T U L O V I

VI CONSERVACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

La conservación en los caminos viene siendo la mejor inversión posible, ya que una conservación adecuada no solo garantiza la inversión inicial de construcción, sino que disminuye el costo de explotación y alarga la vida tanto del camino como de los vehículos que lo usan.

Es necesario entender claramente que la conservación más que un problema de economía, es un problema de muy alta técnica de Ingeniería y por lo tanto los trabajos deben ejecutarse oportunamente ya que de ello depende el que los gastos que se hagan sean mínimos. Sin embargo, para ello es necesario contar con personal con experiencia ya que sin ella, todos los sistemas, materiales y equipo que se empleen, por buenos que sean, tendrán como resultado despilfarros y trabajos defectuosos.

Los encargados de conservación deben observar minuciosamente las superficies bituminosas para percatarse cuando se inicien agrietamientos, cuarteaduras, asentamientos y ondulaciones, para corregir los defectos en su iniciación y para proteger a tiempo los pavimentos -

que manifiestan su destrucción por desgaste u oxidación. Deben de hacer recorridos de inspección durante las lluvias o recién acaecidas éstas, para darse cuenta de los lugares en los que el agua se encharca, para impedir -- que ésta se infiltre a la base y produzca oxidación en la Base. Además se deberá observar si los acotamientos impiden el escurrimiento del agua transversalmente, lo cual ocasiona la penetración y el reblandecimiento de la base en las orillas de las carpetas y deslaves a lo largo de esta orilla por corrientes longitudinales.

La corrección de todos los defectos de las superficies bituminosas oportunamente o en su iniciación, es de vital importancia, puesto que con la penetración del agua y la acción del tránsito se vienen destrucciones aceleradas que implican reposiciones completas de pavimentos y trabajos costosos y dilatados.

Siempre que se hagan reparaciones o refuerzos de pavimentos mejorando el tipo de la superficie, se deben estudiar las condiciones de la Base, puesto que para mejores tipos de pavimentos se necesitan bases más cuidadosamente construidas.

En resumen, podemos distinguir dos tipos de conservación en pavimentos:

- Conservación Preventiva
- Conservación Correctiva

6.1 Conservación Preventiva

Se denomina "Conservación Preventiva" al conjunto de trabajos constantes o periódicos que se ejecutan para evitar el deterioro o destrucción prematuros de una obra y que la mantienen en su calidad y valor.

El programa de trabajos de conservación preventiva es generalmente rutinario y debe tender a ejecutarse en forma de ciclos, estudiando para formularlo los intervalos de periodicidad adecuados a la intensidad del tránsito para algunas obras, como rastreos y bacheos, y de acuerdo con las estaciones meteorológicas del año si se trata de efectos atmosféricos, como las limpieas y desazolves de cunetas y los desyerbes de acotamientos y taludes.

La ejecución de los trabajos de conservación normal en forma de ciclos oportunos necesita de la

elaboración previa de un calendario de operaciones.

En dicho calendario deben aparecer los siguientes tópicos:

- a) Programas y Presupuestos anuales de conservación y mejoramiento.
- b) Limpia y Drenajes
- c) Limpia y Derrumbes
- d) Desyerbes y Podas
- e) Arreglo de Taludes y Acotamientos
- f) Rastreos y Reconformaciones
- g) Inspección de Estructuras
- h) Pintura de rayas y Señales de Tránsito
- i) Informe de Costos.

6.2 Conservación Correctiva.

La conservación correctiva se aplica cuando han ocurrido las fallas en un pavimento, y se dan los pasos para localizar y definir el tipo de falla y lo que la causó, haciendo la reparación necesaria.

Uno de los aspectos más trascendentes en los pavi

mentos es la falla que se puede dar en ellos. Esto es muy importante, tanto que su reconocimiento por los ingenieros de pavimentos, ha causado que a la falla, como factor de diseño, se le dé tanto peso, como a los otros factores que influyen en el diseño.

Se reconocen dos tipos de fallas:

- Fallas Funcionales
- Fallas estructurales.

FALLAS FUNCIONALES

El pavimento no cumple con su misión primordial, provocando incomodidad e inseguridad en el usuario así como esfuerzos imprevistos en los vehículos. Generalmente está localizada en la capa superficial.

Si una carpeta asfáltica se coloca en un pavimento para que proporcione un tránsito cómodo y seguro, y resulta que esa carpeta después de un tiempo de uso, esta arrugada, boluda o resbaladiza, entonces tiene falla funcional. Estas fallas pueden

ser progresivas o no. Además, no imposibilitan a los pavimentos para usarse. Simplemente perdieron su "CÓmoda Tersura" que es muy importante, sobre todo en calles o carreteras de mucho tránsito.

FALLAS ESTRUCTURALES

Se producen cuando se tiene el rompimiento de la estructura del Pavimento o de alguno de sus componentes, de tal manera que es incapáz de soportar las cargas o bien se reduce a una interrupción en su continuidad ó integridad.

Para juzgar el tipo y lugar de una falla, tiene que hacerse un estudio de campo y laboratorio, dirigido por una persona con muchos conocimientos de pavimentos y de laboratorio. Como un cirujano que abre el cuerpo humano, observa y toma muestras y las mala analizar, así un ingeniero tiene que abrir la parte dañada de un pavimento y visualmente analizar el caso y ahí mismo hacer algunas mediciones y pruebas y ordenar un cuidadoso muestreo y su envío a un labo-

ratorio para su ensayo.

Después de reunir esa información, puede decir en donde está la falla, si será progresiva y que tipo de falla es.

Un estudio de fallas en pavimentos flexibles de asfalto, hecho en México, reveló que la causa de ellas correspondía a las siguientes etapas del "Ciclo de un Pavimento":

- Fallas por Diseño Inadecuado - - - - - 25%
- Fallas por Construcción Inadecuada - - 60%
- Fallas por Deficiente Conservación - - 15%

- Dentro de los errores de Diseño podemos mencionar los siguientes:

a) Espesor Insuficiente de Bases.- La carpeta se agrieta al exceder su deformación de la admisible; la acción combinada del tránsito y los agentes atmosféricos acelerará la destrucción prematura de la misma.

b) Mala composición Granulométrica.- Carpetas po-

co resistentes que pueden producir su desintegración por falta de resistencia o de capacidad de duración.

c) Proporción del Bitumen.

- Por falta: se producen grietas y desintegración de la carpeta.

- Por exceso: Ondulación de la carpeta por demasiada plasticidad.

d) Tipo Inadecuado del Bitumen.- Carpetas demasiado plasticas o excesivamente frágiles.

e) Piedra Blanda o Friable.- Destrucción prematura de la carpeta.

- Fallas producto de la Construcción:

a) Calentamiento inadecuado de la piedra o del asfalto.

- Por falta: La carpeta presenta un exceso de bitumen y es demasiado plastica

- Por exceso : Se quema el Bitumen y pierde sus propiedades aglomerantes

b) Consolidación

- Insuficiente: Carpetas poco compactas lo que ocasiona una destrucción prematura.
- Mal llevada: Carpetas con ondulaciones.

c) Frio o Lluvia durante la ejecución.- Carpetas poco compactas y de baja resistencia.

6.3 Fallas Comunes y Recomendaciones para su Corrección.

Los principales signos de destrucción pueden resumirse en los siguientes puntos:

- Desgaste o Desintegración de la Superficie.
- Asentamientos y Deformaciones de la Superficie.
- Baches.
- Agrietamientos
- Corrugaciones o Irregularidades Profundas.
- Desintegración Completa de la Carpeta.
- Superficies exudadas y Resbalozas.

A continuación presentamos algunas de las causas -- que pudieron motivar dichas fallas, así como las recomendaciones más usuales para su corrección.

1) DESGASTE O DESINTEGRACION DE LA SUPERFICIE

Esto puede detectarse por un aumento de rugosi--

dad de la superficie misma, ocasionado por la separación de las partículas finas de la carpeta -- por la acción del tránsito. Para comprobar esto se deben hacer constantes sondeos para conocer el espesor de la carpeta.

Una vez apreciado cualquier signo de desgaste debe estudiarse la causa, que puede ser:

- Falta de Bitúmen-en la Carpeta; en este caso se puede corregir por medio de riegos superficiales en las cantidades necesarias.

- Mala adherencia del material pétreo con el Bitúmen; en este caso se puede corregir esta desintegración dando riegos superficiales con acondicionantes necesarios y cubriéndolos con materiales pétreos que tengan buena adherencia para impermeabilizar la masa de la carpeta y evitar la acción de la humedad sobre la misma. En este caso habrá de tener especial cuidado en las pruebas de permeabilidad, para que los riegos de sello se den en el momento oportuno, pues de otro modo no se conseguiría ningún beneficio.

2) ASENTAMIENTOS Y DEFORMACIONES DE LA SUPERFICIE

Cuando se noten éstos asentamientos, deben hacerse sondeos en los lugares bajos para conocer el espesor de la carpeta en relación con los lugares altos. En caso de que el espesor sea uniforme debe buscarse el defecto en la base.

Las diferencias de espesor en el pavimento, cuando han aparecido después de la construcción, se debe generalmente a un exceso de asfalto o a que se ha usado un asfalto demasiado suave para el clima de la región. Puede presentarse debido a un exceso de finos en las mezclas.

Cuando el asentamiento es provocado por la base, debe estudiarse su drenaje y en caso satisfactorio, el defecto puede provenir de poca resistencia a la compresión de sus materiales, o por falta de espesor en la misma, que no permite distribuir uniformemente las presiones a la sub-base.

También puede ser motivada por mala calidad de los materiales empleados, que no permiten una tracción mecánica o la adecuada fricción interna. Cuando se trate de corregir este defecto, se puede hacer uso, según la magnitud del mismo, de rie

gos superficiales o mezclas asfálticas y compactandolas por capas con aplanadoras ligeras. El uso de aplanadoras de más de 9 toneladas de peso debe de presindirse en el arreglo de estos defectos sobre todo cuando se trata de carpetas viejas, en las cuales el daño que puede ocasionar el peso de las aplanadoras es mayor que el beneficio.

3) BACHES:

Los baches o agujeros deben de observarse desde su iniciación. Su formación es debida principalmente a la falta de uniformidad en la distribución del asfalto o de los materiales pétreos y a la falta de adherencia de la carpeta con base. Puede iniciarse por una irregularidad de la base que produce concentraciones de cargas que llegan a romper la estructura interna de la carpeta.

En el caso de que dichos baches aparezcan principalmente en la corteza, debe estudiarse la posibilidad de falta de un drenaje adecuado en la base. Estos defectos, una vez analizada la causa que los produce y corregida la misma, deben tratarse de la siguiente forma:

Para la reparación de un bache, debe primeramente recortarse el material que se encuentra fijo o que está próximo a soltarse, abriendo una caja en forma rectangular. Dicha caja debe de llenarse - por capas de espesor no mayor de 10 cms. y se deberá compactar cada capa al grado de compactación de la masa circulante; la superficie debe quedar al nivel de la superficie circulante.

La corrección de los baches debe de ejecutarse usando los mismos materiales usados en la construcción del pavimento primitivo y debe de ligarse el material de relleno con las paredes laterales de la caja, pues de otro modo se vuelve a abrir o se provoca una destrucción circulante de la carpeta.

Para proceder a la liga de las paredes laterales del relleno, se da antes una aplicación de producto asfáltico a las mismas, siendo este producto el mismo que se usó en la elaboración de la carpeta.

4) AGRIETAMIENTOS.

a) Aislados, en forma de mapas o en formas para-

lelas.

Las superficies bituminosas deben observarse cuidadosamente para darse cuenta cuando se inician pequeñas grietas aisladas o en forma de mapas o siguiendo curvas o sinuosidades prácticamente paralelas.

La formación de estas grietas se debe a exceso de humedad o drenaje inadecuado de la base, material suave en la misma, falta de resistencia estructural de la base, falta de espesor de la carpeta, asfalto demasiado duro para el clima, oxidación del asfalto o falta completa de las sustancias volátiles del asfalto.

Cuando se observan estos agrietamientos, que pueden ser debidos a la última consolidación de la carpeta o de la base, debe darse un riego de protección cubierto con material pétreo, que impida la penetración de la humedad superficial.

Cuando se deben a drenaje inadecuado de la base, o material suave, o falta de espesor de la misma, es antieconómico dar riegos superficiales puesto que las grietas progresan a través de los mismos

riegos y en muchos casos, la impermeabilidad lograda acelera la destrucción de la carpeta. En estos casos se debe corregir la base por medio de un drenaje adecuado o por la adición de los materiales necesarios que mejoran su estabilidad o por el aumento del espesor adecuado.

b) Grietas irregulares en forma de piel de cocodrilo.

Estas grietas son típicas, debidas a defectos de materiales en la base, contracción lineal mayor de la permitida.

Una vez presentadas no hay remedio superficial para las mismas. Se debe a que las carpetas no tienen la debida impermeabilidad y permiten la introducción del agua, que afecta la porción, cementante de las bases y por sus altos cambios volumétricos, ocasiona las contracciones lineales altas por cambio de temperaturas y del grado de humedad en la misma.

Se deben corregir poniendo los materiales de la base dentro de los límites máximos de especificación.

c) Grietas Longitudinales.

Cuando se producen grietas longitudinales paralelas y cercanas a las orillas de las carpetas, durante las temporadas de secas la causa es la contracción de los materiales que forman la subrasante, al secarse más rápidamente los taludes y acotamientos que la parte cubierta por la carpeta, Esto es provocado principalmente cuando las terracerías no tienen la debida compactación o que están constituidas por arcillas o materiales de muy alta contracción lineal

La contracción del prisma formado por los acotamientos y los taludes se ejerce hacia el eje longitudinal del mismo y por lo tanto se desprende del corazón de la cama del camino, desmoronándose por la grieta longitudinal que va aumentando en anchura a medida que la sequía prevalece evaporando superficialmente el agua que contenía con anterioridad. Este defecto puede agravarse en tal forma -- que en ocasiones alcanza la separación y formación de grietas varios metros adentro de la carpeta asfáltica.

Pueden corregirse de emergencia, rellenando las grietas con un material asfáltico que asegure la mayor penetración y en caso de que su anchura lo permita completar el relleno con arena, para evitar la evaporación de la humedad contenida dentro de la masa de las terracerías.

La corrección definitiva debe hacerse por cualquiera de los métodos siguientes:

- En caso de ser posible, el acotamiento de los taludes de los terraplenes, para retirar la absorción por capilaridad de la masa del terraplén por tener una superficie mayor expuesta a la evaporación, recubrir estos taludes con materiales adecuados que permitan sostener un grado de humedad constante dentro de la masa de la terracería, sin pérdida de la misma, ó

- Compactación adecuada de los materiales que forman los acotamientos y los taludes por medio de rodillos patas de cabra, y reposición de los materiales de sub-base y base, cuando menos en un espesor de 30 cms.

5) CORRUGACIONES O IRREGULARIDADES PROFUNDAS

Cuando se observen deformaciones de la superficie por movimientos más o menos ondulantes, deben hacerse sondeos para determinar los espesores de la carpeta. El aumento de espesor de la carpeta en los lomos de las ondulaciones es motivado por exceso de granos finos en el material pétreo, por exceso de material asfáltico, ó demasiado suave para el clima de la región.

Cuando el espesor de la carpeta es uniforme y en las ondulaciones aparecen grietas paralelas a la misma, la causa más probable es exceso de humedad en la base, o a superficies ó bases inadecuadas para resistir las cargas del tránsito.

Cuando las ondulaciones se deben a defectos de base, la longitud de las ondas es mayor que cuando el defecto es debido únicamente a la carpeta.

En los casos que las ondulaciones aparecieren, sobre bases satisfactorias y debido a exceso de granos finos del material pétreo o por exceso de material asfáltico, debe de tratarse de aprovechar la mezcla existente de la carpeta adicionandole -

el material pétreo con la granulometría adecuada

En caso de que sea posible el ejecutar una nueva mezcla se procederá a escarificar, mezclar, tender y compactar. En caso de que la carpeta vieja presente trozos de difícil disgregación para mezclarse con los nuevos materiales, se deben hacer pruebas de renivelación con mezclas, pues en muchos casos se logra confinar la corrugación con este tratamiento superficial.

Cuando este defecto se forma por exceso de humedad en la base, o por defecto del espesor de la misma, se debe tratar éste para proceder al acondicionamiento correcto de ella.

6) DESINTEGRACION COMPLETA DE LA CARPETA.

Cuando se observa la iniciación de desintegraciones completas de la carpeta, se deben hacer en primer lugar sondeos para conocer por medio de análisis las características de los materiales de la base, para determinar si existe humedad excesiva, o excesos de materiales arcillosos y sólo en caso de que éstas esten dentro de espe

cificaciones, deben de analizarse los materiales de la carpeta, para conocer si hubo defecto en la cantidad de asfalto, o si éste se encuentra oxidado ó a llegado a un estado de secado que nulifique su poder aglutinante.

Cuando ocurre este defecto, por ningún motivo deben de darse riegos superficiales para tratar - corregirlo.

Después de conocer la causa, se deberá escarificar el material de la carpeta y se corregirá la causa; ó en el caso de las bases, aprovechando el producto de la escarificación, para incorporarlo al espesor de la base.

Por ningún motivo se tratará de utilizar este material para formar parte del nuevo material pétreo de la carpeta.

7) SUPERFICIES EXUDADAS Y RESBALADIZAS

Las superficies demasiado lisas y con exudaciones, son producidas por exceso de asfalto, por demasiada suavidad del producto asfáltico empleado para el clima de la región, por el uso de asfal-

tos de fraguado más lento que el conveniente y - por construcción prematura de carpetas de asfaltos duros sobre asfaltos de fraguado lento, que ejercen una acción ascendente de sus materiales volátiles hacia la superficie.

Deben analizarse las carpetas, para conocer la causa de la exudación.

También se producen superficies lisas por exceso de finos, que aunque tengan buena resistencia, puedan ser causa de los deslizamientos de los vehículos, en caso de lluvias o pequeñas nevadas. Estas circunstancias deben ser observadas, a fin de poder juzgar si ameritan corregirse.

Tan pronto se noten las exudaciones de una carpeta, deben de cubrirse estas zonas durante la hora más calurosa con arena, y rastrearse constantemente para tratar de formar una carpeta uniforme que absorva el excedente del asfalto, y evitar que se formen ondulaciones.

En caso de que estas superficies sean muy --

" grandes, se deberán cubrir con un riego superficial, pero tomando en cuenta para el riego de asfalto la cantidad excedente en la carpeta.

VII CONCLUSIONES.

De lo expuesto, parece desprenderse la idea de que el problema de la estructuración de un pavimento es -- claro y sencillo, y lo es, en efecto, en lo que se refiere al planteamiento básico; sin embargo, en el momento en el que los criterios anteriores tratan de -- ajustarse a cualquier caso particular, surge tan gran número de incertidumbres, que el panorama se oscurece y se dificulta mucho la definición de la óptima norma de conducta.

El proyecto de pavimentos se complica en principio desde el punto de vista matemático, queda el hecho de que la construcción de pavimentos no puede hacerse con el refinamiento que una aplicación teórica exigiría; -- no sería juicioso emplear para el proyecto teorías muy detalladas y complejas, si los procesos de construcción han de hacerse de tal modo que no pueda garantizarse suficientemente el que se alcancen en obra las -- refinadas condiciones del proyecto.

En segundo lugar, están las insuperables dificultades que actualmente presenta el valuar de un modo razonable la acción de los agentes naturales del clima, a los que todo pavimento queda invariable e indefinidamente expuesto.

Conviene recordar las complicaciones que introduce en el problema del proyecto el gran número de variantes posibles y los criterios a adoptar. En un caso dado se ofrecen al ingeniero multitud de materiales, unos más lejos, otros más cerca, con propiedades diferentes que se traducen en ventajas e inconvenientes concretos, a ello se suma la extensa posibilidad de jugar con los espesores de las diferentes capas.

Incuestionablemente existe una consideración más que complica mucho los criterios a utilizar en el diseño de pavimentos y es la enorme variedad de circunstancias en que tal proyecto ha de efectuarse. El proyecto del pavimento de una gran autopista impone criterios que han de tener sustanciales diferencias respecto al diseño de un pavimento de un camino vecinal.

Los factores económicos de costo, vida útil a considerar, definición de condiciones aceptables de ser-

vicio o de condiciones que ameriten compostura o reconstrucción, constituyen un completo trasfondo en todo el panorama de decisión conectado con el proyecto y la construcción de los pavimentos. Todos los criterios y variantes posibles han de examinarse a fin de cuentas dentro de un panorama económico que trascienda, desde luego, la consideración simplista de lo que es más barato o más caro, para analizar toda la gama de factores sociales conectados con la inversión pública y todas las consideraciones de grado y calidad de servicio.

BIBLIOGRAFIA

TULO

AUTOR

o de Pavimentos Flexibles
I, II, III.

Centro de Educación Continua
Facultad de Ingeniería UNAM

cturación de los Pavimentos

Alfonso Rico Rodríguez
-SOP-

de Comunicación

Carlos Crespo Villalaz.

l de Pavimentos

Jesús Moncayo V.

mentos de Caminos y Aeropistas

González Hermosillo

l de Asfalto

The Asphalt Institute

falto

Ralph Tlaxler

iones Asfálticas

Gustavo Rivera E.

os, Planeamiento y Equipos de
rucción

R. L. Peurifoy

ica de Suelos Tomo I y II

Juarez Badillo y Rico Rodríguez

mentos Asfálticos

Martín y Wallags.