

25  
2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
"ACATLAN"

"ANALISIS COMPARATIVO ENTRE LOS METODOS DEL  
VRS Y EL DEL INSTITUTO DE INGENIERIA Y  
DESCRIPCION DEL PROCESO CONSTRUCTIVO  
DEL PAVIMENTO FLEXIBLE"

**TESIS PROFESIONAL**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**INGENIERO CIVIL**  
P R E S E N T A :  
**HECTOR VELAZQUEZ MAINFELT**

DIRECTOR DE TESIS:  
ING. CELSO BARRERA-CHAVEZ

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

MEXICO, D. F.



1990



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

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

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

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

# I N D I C E

|   |    |
|---|----|
| Introducción.....   | 1  |
| Capítulo I Generalidades.....                                 | 5  |
| Capítulo II Métodos de diseño de<br>pavimentos flexibles..... | 19 |
| Capítulo III Asfalto y agregados pétreos.....                 | 50 |
| Capítulo IV Descripción del proceso constructivo.....         | 67 |
| Conclusiones.....   | 65 |
| Bibliografía.....   | 68 |

## INTRODUCCION

En el transcurso del tiempo y desde la época más antigua, se ha hecho patente la evolución de las civilizaciones. Dentro de ésta evolución está el avance científico y tecnológico, en el cual se encuentra la Ingeniería Civil; que procura el confort, bien estar y desarrollo económico, industrial comercial y social del ser humano, logrando esto con técnicas de Ingeniería en sus diferentes campos como en lo referente a las vías terrestres. Todo esto con el objetivo de buscar soluciones adecuadas y económicas a toda clase de situaciones que se presenten.

Las vías terrestres son muy importantes para el todo tipo de desarrollo (como los ya mencionados) de una población; ya que dichas vías incorporarán a la vida económica a regiones aisladas, elevando como consecuencia sus niveles de desarrollo.

Los caminos en México datan desde los Aztecas, ya que a la llegada de los españoles se encontraron con un buen número de calzadas de piedra, una considerable cantidad de caminos veredas y senderos a pesar de no conocer el uso de la rueda.

Los pueblos que más sobresalían en el aspecto constructivo eran los Mayas y los Aztecas; y es necesario hacer notar, que no solo se preocupaban en la construcción de caminos; sino también en su conservación y mantenimiento y se sabe que hasta llegaron a crear leyes para ello.

## INTRODUCCION

El primer camino construido a principios de la Colonia se debió a Hernán Cortés en 1522, que mandó a construir el Camino de México-Veracruz, que fue de gran trascendencia ya que introduce un experimento que transformó a los sistemas de transportación en el país, siendo dicho experimento, la Carretera.

Al finalizar la Colonia, México ya contaba con un gran número de caminos carreteros (7,605 Km) y de herradura (19,720Km), variando su conservación de acuerdo a la importancia del camino.

Es indudable que la evolución de vehículos de transporte, al paso de los años trae como consecuencia una transformación en las vías terrestres, de esta forma se debe de tener mayor cuidado en el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras.

Con la aparición del automovil moderno se tuvieron que mejorar las superficies de rodamiento para que el pavimento tenga funcionalidad y comodidad. Esto se logra a partir de bases sólidas capaces de resistir las cargas que impone el tránsito.

El ritmo acelerado de la vida nacional a exigido la creación y mejora de servicios, el desarrollo de proyectos de inversión y una constante y estricta administración de recursos. Este continuo desarrollo requiere de crecimiento y modernización de los sistemas de transporte.

## INTRODUCCION

Actualmente se esta dando impulso al crecimiento y modernización de los sistemas carretero, ferroviario, portuario y aeroportuario. En la administración del gobierno actual se le ha dado un mayor impulso al sistema carretero que a cualquier otra vía de comunicación como es el caso de la carretera México-Acapulco con la participación de la iniciativa privada.

Con todas las exigencias y factores mencionados anteriormente, se desprende la importancia de los métodos de diseño y aspectos constructivos de los pavimentos que son parte central de ésta tesis. Todo esto con el objetivo de determinar cual es el método de diseño más conveniente a través de un ejemplo y el de saber que es lo más conveniente para realizar un buen proceso constructivo.

A continuación se presenta el contenido de este trabajo:

En el capítulo I se tratan los aspectos generales de lo que es el pavimento, su definición, clasificación, capas que lo componen y unas secciones típicas. También los esfuerzos en los pavimentos flexibles, basados en la teoría de Boussinesq y la descripción de pruebas de laboratorio usuales para el diseño de pavimentos.

En el capítulo II se explican los métodos de diseño como el VRS o CBR, el del Instituto de Ingeniería de la UNAM y se mencionan otros métodos como el de Hveem y el de McCleod. Se plantea un problema y se resuelve por los métodos VRS o CBR

## INTRODUCCION

y el del Instituto de Ingeniería de la UNAM y se comparan los resultados.

En el capítulo III se habla del asfalto, su naturaleza, tipos y usos, y se mencionan las emulsiones asfálticas, el por que surgieron y sus ventajas. Se dan sus propiedades y especificaciones; también se trata el aspecto de la localización de bancos para agregados pétreos y se dan sus especificaciones.

En el capítulo IV se trata a la compactación y su importancia que juega en el pavimento y la descripción del proceso constructivo y los usos de la maquinaria empleada en la construcción.

Por último se dan las conclusiones.

**C A P I T U L O**

**I**

**G E N E R A L I D A D E S**

## I.1 DEFINICION

El pavimento es la capa o conjunto de capas de materiales pétreos graduados y un aglutinante asfáltico o hidráulico, comprendidos entre el nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento, cuyas principales funciones son las de proporcionar una superficie uniforme de rodamiento, color y textura apropiada, resistencia a la acción del tránsito, intemperismo y agentes perjudiciales, así como transmitir en niveles adecuados a las terracerías los esfuerzos producidos por las cargas impuestas por el tránsito. La condición básica es la de poseer la resistencia apropiada y las características mecánicas convenientes para soportar las cargas impuestas por el tránsito sin falla y con deformaciones que no sean permanentes y que garanticen un tránsito constante y fluido.

Las características de resistencia y deformabilidad se satisfacen con una capa de material que se encarga de distribuir los esfuerzos de tal modo que a la sub-rasante lleguen los esfuerzos, en niveles tolerables para que no produzcan falla ni asentamientos y otras deformaciones.

El material más adecuado para llevar esta función es el material grueso (friccionante) que son los más adecuados para llevar a cabo esta función estructural; ésta capa es la base de los pavimentos flexibles.

Las características fundamentales de un pavimento flexible, considerado como un conjunto son:

- a) Resistencia estructural
- b) Deformabilidad
- c) Durabilidad
- d) Costo
- e) Requerimientos de conservación
- f) Comodidad

#### a) RESISTENCIA ESTRUCTURAL

Esta es la primera condición que debe de cumplir el pavimento, debido a las cargas que impone el tránsito. Dichas cargas producen esfuerzos cortantes y normales en todo punto de la estructura. La metodología pura para el análisis en la resistencia de pavimentos es proporcionada por la Mecánica de Suelos, ya que sus teorías de falla son las más adecuadas y las de mayor aceptación, como las de esfuerzo cortante; que como consecuencia se toma como la principal falla de pavimentos desde el punto de vista estructural. Esta teoría produce incertidumbre en el planteamiento teórico ya que la teoría se refiere a medios homogéneos e isotrópos y estas condiciones no son ciertas.

#### b) DEFORMABILIDAD

Es un aspecto importante ya que la deformación en los pavimentos puede causar la falla de los mismos.

Las deformaciones interesan desde 2 puntos de vista:

- 1.- Por que las deformaciones excesivas estan asociadas a los estados de falla.
- 2.- Por que es sabido que un pavimento deformado deja de cumplir sus funciones.

Las deformaciones que se producen en el pavimento pueden ser:

- Elásticas- que son de recuperación instantánea y la deformación elástica repetitiva preocupa en los materiales con resistencia a la tensión ( materiales de origen volcánico); ya que la esto hace que exista después falla por fatiga.
- Plásticas- son las que permanecen en el pavimento después de cesar la causa deformadora y repetidamente suele hacerse acumulativa hasta alcanzar niveles inadmisibles.

#### c) DURABILIDAD

Es difícil definir la durabilidad deseable a lograrse en cada caso. Evidentemente está ligada a una serie de factores económicos y sociales del camino, así como factores climáticos y de tránsito futuro.

#### d) COSTO

Un diseño correcto será el que llegue a satisfacer las necesidades requeridas del servicio a un costo mínimo.

Primero hay que elegir el tipo de pavimento (flexible o rígido) siendo distinto el costo de los dos, el flexible su costo de construcción es menor que el del rígido, pero sus requerimientos de conservación son mayores.

Otro aspecto en el costo es en lo relacionado a los bancos de materiales, ya que el método de extracción, acarreo y tratamiento se refleja mucho en los costos. También la compactación juega un papel importante; y por último la

## CAPITULO I

## GENERALIDADES

selección adecuada de los materiales hace que las capas superiores sean más caras por lo que se procura que sus espesores sean lo menor posible dentro de las especificaciones.

### e) REQUISITOS DE CONSERVACION

La falta de conservación sistemática ocasiona que la vida del pavimento se acorte, y su durabilidad sea menor ocasionando gastos adicionales.

### f) COMODIDAD

Va relacionado el aspecto y funcionamiento del pavimento.

## I.2 CLASIFICACION, ESTRUCTURA Y SECCIONES TIPICAS

La clasificación se hace en base a su rigidez principalmente y sería:

### - Pavimentos rígidos

En el cual su estructura fundamental es una losa de concreto apoyándose sobre una capa de material seleccionado a la que se le da el nombre de sub-base, pudiendo ser la terracería misma. Los concretos utilizados en la losa suelen estar comprendidos entre 200 y 400 kg/cm<sup>2</sup> y pueden ser de concreto simple, reforzado y pre-esforzado.

### - Pavimentos flexibles

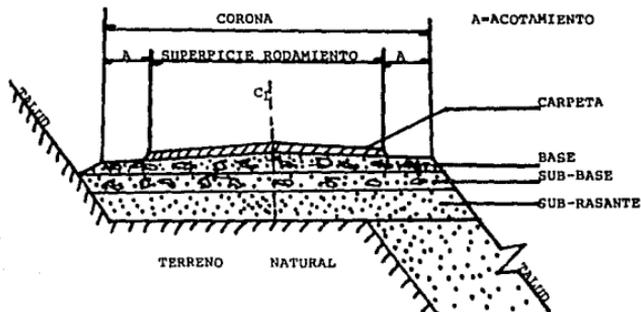
Es el pavimento que está integrado por varias capas

de diferentes características, debido a la selección de los materiales, así como de su tratamiento mecánico para que cumplan con sus funciones específicas. Además la superficie de rodamiento, llamada carpeta está constituida por el concreto asfáltico (grava mezclada con asfalto), que es el elemento cementante.

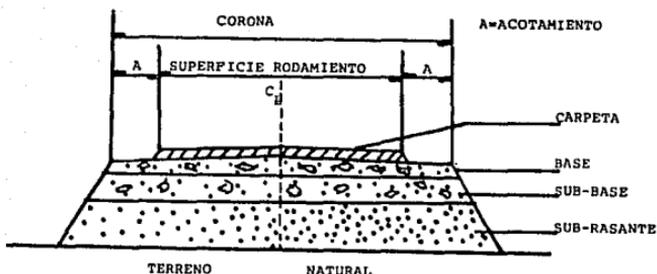
### I.2.1 ESTRUCTURA

- Pavimento rígido
  - 1.- capa sub-base
  - 2.- losa de concreto hidráulico
- Pavimento flexible
  - 1.- terracería
  - 2.- sub-rasante
  - 3.- sub-base
  - 4.- base
  - 5.- carpeta

### I.2.2 SECCIONES TÍPICAS



Sección transversal típica de una sección en balcón.



Sección transversal típica de una sección en terraplén.

### I.3 CARACTERÍSTICAS Y FUNCIONES DE LAS DIFERENTES CAPAS QUE LO INTEGRAN

La estructuración de los pavimentos flexibles es muy importante, debido a la influencia en la vida del mismo.

#### SUBRASANTE

#### FUNCIONES

- Ayuda a la estabilidad del conjunto.
- En el orden económico una buena subrasante del suficiente espesor y calidad permitirá ahorros importantes de las capas superiores, ya que al tener mejor soporte el espesor de las otras capas será menor, ahorrándose dinero ya que son de mayor calidad y por tanto más costosas.
- Absorber y soportar esfuerzos relativamente altos causados por el tránsito y transmitirlos suficientemente disminuidos a las terracerías.

## CARACTERISTICAS

- Para carreteras la cifra mínima es de 30 cm. llegando hasta 50cm en caminos de alto tránsito.
- No debe de tener partículas mayores de 7.6cm (3''), excluye a los suelos finos (limos y arcillas de alta compresibilidad)
- El grado de compactación mínima es de 90-95%
- El VRS (valor relativo de soporte) 5% .

## SUB-BASE

## FUNCIONES

- Su principal función es de carácter económico, pues se trata de abatir el costo del pavimento ya que se hace con material más barato que la base pero más caro que la subrasante.
- Es la de servir de transición entre el material de la base, (granular grueso), y el de la subrasante (fino).
- Se aprovechan principalmente sus características de resistencia friccionante y la capacidad drenante, para desalojar el agua que se infiltre o que ascienda por capilaridad.

## CARACTERISTICAS

- La granulometría se establece en la figura I.1, esta figura muestra la forma en que debe de desarrollarse la curva granulométrica; debe de estar comprendida entre las zonas 1,2 ó 3, forma parecida y sin cambios bruscos en la curva.
- La relación de % en peso que pase de la malla No 200 a la de la No 40 no deberá exceder en un 65%.
- Agregado máximo 51mm. (2'').
- Equivalente de arena mínimo del material del 20%.

- VRS 50% mínimo.
- Grado de compactación del 95% mínimo.
- Espesores variables 12-15cm.

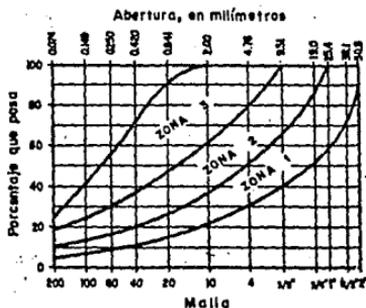


figura I.1

## BASE

## FUNCIONES

- De carácter económico análogo al de la base, ya que permite reducir el espesor de la carpeta.
- Función fundamental es la estructural (de resistencia a las cargas del tránsito).
- Transmisión de esfuerzos a intensidades adecuadas.
- Actúa como dren para eliminar rápidamente el agua infiltrada a través de la carpeta, e impedir la ascensión capilar.
- Dichas funciones se obtienen con material friccionante.

## CARACTERISTICAS

- La figura I.1 muestra la zona de las curvas granulométricas

## CAPITULO I

## GENERALIDADES

a utilizar en la base. Las zonas son 1 ó 2 y la curva tenga forma parecida a las que están.

- La relación de % en peso, que pase la malla No 200 al de la No.40 no mayor de 65%.
- Agregado máximo 51mm. (2'') en materiales naturales que no requieren tratamiento. Y 38mm. (1 1/2'') en materiales que han de cribarse o triturarse.
- Límite líquido 30% máximo.
- Equivalente de arena 30%-50%.
- VRS 80%-100%.
- Grado de compactación 100%.
- Espesores variables 12-15cm.

## CARPETA

### FUNCIONES

- Proporcionar una superficie estable y uniforme de rodamiento
- Resistir cargas impuestas por tránsito.
- Tener un color que impida reflejos.
- Ser impermeable .
- Resistir efectos abrasivos del tránsito, efectos de impacto y del intemperismo.

### CARACTERISTICAS

- Presentar una rugosidad adecuada.
- Espesores variables 5cm. mínimo.
- Esta formada por material pétreo y un producto aglutinante.

## I.4 ESFUERZOS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES

Los esfuerzos en pavimentos flexibles se determinan por la siguiente ecuación :

$$r_z = W \left[ 1 - \left[ \frac{1}{1 + \left( \frac{r}{z} \right)^2} \right]^2 \right]^{\frac{3}{2}}$$

Esta ecuación fue determinada por Boussinesq y se aplica debido a la similitud de transmisión de cargas, área de influencia de dicha carga, área de contacto de la llanta que es elíptica pero que para su cálculo se asemeja a una circunferencia; y que la carga es uniforme. Dicha ecuación determina la distribución de esfuerzos bajo un área circular uniformemente cargada.

Ejemplo.- Determinar el valor del esfuerzo vertical bajo una rueda de diseño con los datos siguientes:

Presión de inflado de la llanta de 10 Kg/cm<sup>2</sup>

Profundidades de: 10, 25, 50 y 100 cm.

W = 20,000 kg

$$P = \frac{F}{A}$$

$$A = \frac{F}{P} = \frac{20,000}{10} = 2,000 \text{ cm}^2$$

$$A = \pi r^2 \longrightarrow r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = 25.53 \text{ cm.}$$



con el suelo, midiendo las deformaciones finales correspondientes a los distintos incrementos de carga utilizados. La carga es aplicada con un gato hidráulico; las deflexiones son medidas, en 4 puntos (en forma de cruz), con extensómetros apoyados en dicha placa.

La presión normal que la placa transmite corresponde a la ecuación:

$$F = n + m (P/A) \quad \text{siendo:}$$

F = presión normal transmitida por la placa.

n, m = coeficientes empíricos (se obtienen haciendo 2 pruebas mínimo, con la misma deflexión y presión).

P/A = relación entre el perímetro y el área de la placa.

Con esta prueba puede calcularse el módulo de reacción, que se define como la presión que ha de transmitirse a la placa para producirle al suelo una deflexión prefijada. Este módulo depende de la humedad del suelo; se expresa:  
 $K = P/\Delta$  [presión/deformación].

#### b) PRUEBA VRS (VALOR RELATIVO DE SOPORTE) O CBR

Esta fue desarrollada por el Departamento de Carreteras de California, es muy usada mundialmente en la actualidad. El VRS se obtiene de una prueba de penetración, se hace penetrar a un vástago de  $10.4\text{cm}^2$  de área en un espécimen de suelo a razón de  $0.127\text{cm}/\text{min}$ ; se mide la carga aplicada para penetraciones que varíen en  $0.25\text{cm}$ .

El VRS se define como la relación, expresada en %, entre la presión necesaria para penetrar  $0.25\text{cm}$  y la presión

requerida para tener la misma penetración en un material arbitrario, adoptado como patrón que es una piedra triturada en las que se producen las presiones en el vástago.

Los factores que más afectan los valores obtenidos en la prueba VRS son la textura del suelo, su contenido de agua y su condición de compactación. Existe un VRS máximo, que corresponde a una humedad relativamente cercana a la óptima de compactación.

La prueba VRS puede contemplarse como un cierto tipo de prueba esfuerzo-deformación.

#### c) PRUEBAS TRIAXIALES

La tecnología de los pavimentos ha desarrollado un conjunto de pruebas de tipo triaxial, aplicadas para determinar las propiedades de las subrasantes y de las capas del pavimento, incluyendo carpetas.

##### - Prueba triaxial de Kansas

La prueba mide el módulo de deformación de los suelos, definido como la pendiente de la curva esfuerzo-deformación.

##### - Prueba triaxial de Texas

Sus fines son obtener las envolventes de resistencia de los suelos.

##### - Estabilómetro de Hveem

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

d) OTROS TIPOS DE PRUEBAS

Sirven para aplicar el método de Hvem del proyecto de espesores de pavimentos flexibles.

- Presión de exudación

Consiste en medir el esfuerzo de compresión necesario para que el espécimen compactado con una cierta humedad expulse el agua de moldeo.

- Presión de expansión

Esta prueba mide la presión que desarrolla, bajo ciertas condiciones, un espécimen de suelos a los que se permite absorber agua libre. Constituye una condición de diseño que el peso del pavimento ha de ser suficiente para neutralizar la presión de expansión medida.

- Valor de cohesiómetro

Este mide la resistencia a la tensión por flexión de un espécimen de suelo.

**C A P I T U L O**

**I I**

**M E T O D O S   D E   D I S E Ñ O**

## CAPITULO II

## MÉTODOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

### II.1 MÉTODO VRS (aplicado a carreteras)

El cuerpo de ingenieros de E.U. establece, en base a observaciones hechas a pavimentos, el uso de la ecuación para obtener el espesor del pavimento, en función del IT (Índice de tránsito) y del VRS del terreno natural.

$$e = 2.5 F \left[ \frac{P}{8.1VRS} - \frac{A}{\pi} \right]^{\frac{1}{2}}$$

e = espesor del pavimento en cm.

F = 0.23log IT + 0.15

P = carga sencilla equivalente al sistema de llantas.

A = área de contacto de la llanta en cm<sup>2</sup>. (Área circular)

VRS=valor relativo de soporte de la subrasante.

$$IT = 6.7 \left[ \frac{CE}{10^6} \right]^{0.119}$$

IT = índice de tránsito

CE = número de ruedas de 2700kg (5000lb) que equivalen al tránsito real del camino durante el periodo de diseño, el cual se calcula para los diferentes vehículos de varios ejes multiplicados por sus factores de equivalencia.

### HOMOGENIZACION DEL TRANSITO

El tránsito al que está sujeto el pavimento es

## CAPITULO II

## METODOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

altamente variable por lo que se hace necesario llegar a una homogenización del tránsito que circula por el pavimento. Uno de los procedimientos más racionales es el del Departamento de Carreteras de California, solo que éste método por estar basado en estadísticas basadas en ése estado, para su utilización en otros lugares se deberán hacer adaptaciones.

La utilización de éste método impone manejar el concepto de índice de tránsito, que se utiliza en la fórmula, IT que se determina con la siguiente ecuación:

$$IT = 8.7 \left( \frac{CE}{10^6} \right)^{0.119}$$

IT = índice de tránsito.

Los ingenieros del estado de California consideran que la rueda equivalente tiene una presión de inflado de 4.0 kg/cm<sup>2</sup> (70 lb/pulg<sup>2</sup>).

Factores de equivalencia para llantas en arreglo dual de vehículos de varios ejes con la rueda estandar de 4.0 kg/cm<sup>2</sup>.

| número de ejes de los vehículos | valor de la carga equivalente CE para 1 año de servicio |             |
|---------------------------------|---|-------------|
|                                 | carreteras principales                                  | secundarias |
| 2                               | 280   | 200         |
| 3                               | 930   | 690         |
| 4                               | 1320  | 1070        |
| 5                               | 3190  | 1700        |
| 6                               | 1950  | 1050        |

El procedimiento para obtener el IT, primero se requiere hacer una estimación del número de vehículos diarios

## CAPITULO II

## METODOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

y agruparlos según el número de ejes. Cada número de vehículos de iguales características se multiplican por su correspondiente factor de equivalencia de reducción. Se suman los resultados anteriores teniendo como resultado el número anual de vehículos con carga estandar. Con la siguiente ecuación se obtiene el valor de CE para el periodo de diseño.

$$CE = P \sum CE F_p$$

CE = homogenización del tránsito

P = periodo de diseño

F<sub>p</sub> = factor de proyección

$$F_p = \frac{1 + \frac{VPDA_n}{VPDA_i}}{2} \quad \frac{VPDA_n}{VPDA_i} = (1+r)^n$$

VPDA = valor promedio diario anual (n años de diseño, i valor inicial).

r = tasa de crecimiento.

n = años de diseño.

Y finalmente se obtiene el IT.

Este método es repetitivo, ya que se aplica la fórmula capa a capa del pavimento; tiene el inconveniente de que la gráfica que propone está establecida para 10<sup>6</sup> repeticiones de la rueda de diseño; de tal forma que los espesores determinados teóricamente servirán para soportar esas 10<sup>6</sup> repeticiones. Por lo que se recomienda utilizar en forma combinada con el procedimiento propuesto por McCleod, que consiste en:

- 1) Con el VRS del suelo de apoyo y la gráfica del cuerpo de ingenieros (fig. II.1) se obtienen los espesores necesarios para 10<sup>6</sup> de repeticiones.

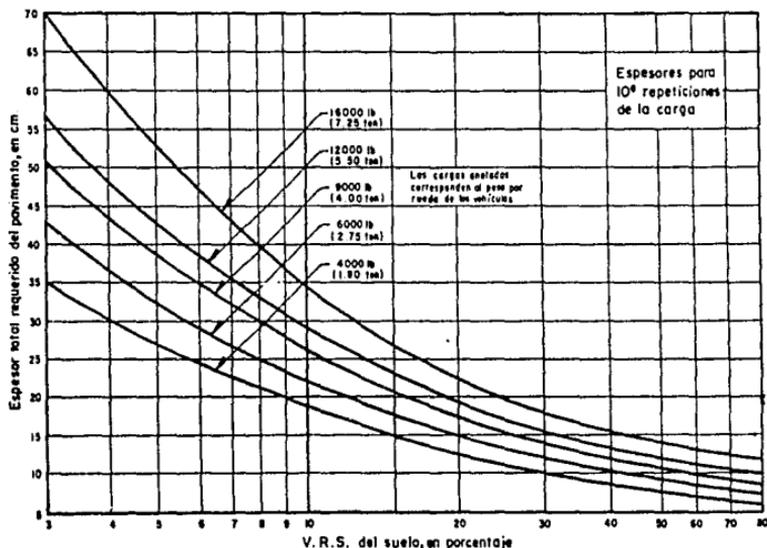


fig.II.1 Espesores necesarios del pavimento para  $10^6$  repeticiones, en función del VRS

2) Con esos espesores y con  $10^6$  de repeticiones nos hará un par coordinado para la elaboración de una nueva gráfica. Con el 25% de los espesores obtenidos y el valor de una

repetición, nos dará el segundo punto coordinado. Uniendo estos 2 puntos para cada carga en escala logarítmica, nos dará la recta correspondiente a cada carga.

Para la abscisa  $10^6$  trazamos una vertical hasta cortar la recta correspondiente a la rueda de diseño que se esté utilizando, por este punto donde corta, se traza una horizontal y donde vaya cortando a las demás rectas (de diferentes cargas), se podrá ver en el eje de las abscisas el número de repeticiones equivalente a la rueda de diseño. Para obtener los factores de equivalencia para convertir el tránsito promedio diario anual (TPDA) a la rueda de diseño deberá dividirse el valor  $10^6$  entre el número de repeticiones equivalentes de cada carga o rueda. (fig II.2).

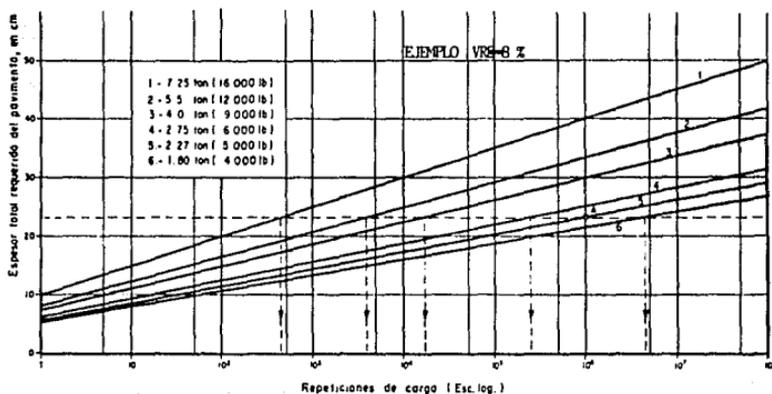


Fig. II.2

- 3) Con los datos del número de vehículos de cada carga, agrupados en términos de TPDA y multiplicados por su factor de equivalencia nos dará el TPDA en términos de rueda equivalente (sumándolos).
- 4) El TPDA en términos de rueda equivalente deberá ser proyectado a 10 años de servicio y con una tasa de crecimiento para obtener el tránsito proyectado de diseño.
- 5) Con el valor del tránsito proyectado a la rueda de diseño se entra a la gráfica propuesta por McCreod el cual nos dará entonces el espesor requerido para esas repeticiones.

Nota: Es importante hacer notar que todo este procedimiento deberá de repetirse cuando varíe el VRS.

### II.2 METODO DEL INSTITUTO DE INGENIERIA

Este método está basado en los resultados obtenidos por pruebas en 2 tramos de carreteras y en estructuras de pavimentos construidos en la pista circular del instituto de ingeniería.

Una característica importante es la que maneja coeficientes de daños, parecidos a los de la AASHO, para una rueda de diseño de 8.2 Ton. para una profundidad de 15 cm.

| Vehículo tipo | Coeficientes de daño |       |
|---------------|----------------------|-------|
|               | Instituto z=15 cm.   | AASHO |
| Ap            | 0                    | 0     |
| Ac            | 0.04                 | 0.03  |
| B             | 1.15                 | 1.12  |
| C2            | 0.47                 | 0.48  |
| C3            | 0.68                 | 0.77  |
| T2S1          | 1.74                 | 1.74  |
| T2S2          | 1.57                 | 1.65  |
| T3S2          | 1.30                 | 1.18  |

Fig II.3

Pero además maneja coeficientes de daño para vehículos cargados y vacíos para diferentes profundidades (0, 15, 22.5 y 30 cm.).

#### HOMOGENIZACION DEL TRANSITO

El método considera la conversión del tránsito real mezclado (TPDA), a un tránsito equivalente de ejes sencillos de 8.2 toneladas mediante la aplicación adecuada de los coeficientes de daño por tránsito típico; en la (Fig. II.3) se observan los tipos de vehículos así como los coeficientes de diseño.

Consiste en:

- 1) Cuantificar el TPDA, agrupándolo por tipo de vehículos.
- 2) Multiplicar ese TPDA por los coeficientes de distribución para el carril de proyecto, de acuerdo al número de carriles en ambos sentidos, indicados en la tabla; obteniendo así el número de vehículos en el carril de diseño.
- 3) Se multiplica este valor por los coeficientes de diseño, abteniendo el número de ejes equivalentes a 0 y a 15cm.
- 4) En el renglón de abajo se hacen las sumatorias del TPDA, el número de ejes equivalentes en  $z=0\text{cm}$  ( $T_0$ ) y  $z=15\text{cm}$ . ( $T_0'$ ).
- 5) El tránsito equivalente acumulado sería:

$$Eln = C' \times T_0$$

$Eln$  = Tránsito acumulado durante  $n$  años de servicio y tasa de crecimiento  $r$ , en ejes equivalentes de 8.2 Ton.

$T_0$  = Tránsito medio diario en el primer año de servicio para el carril de diseño en ejes equivalentes de 8.2 Ton.

$C'$  = Coeficiente de acumulación de tránsito para  $n$  años de servicio y una tasa de crecimiento anual  $r$ , que se obtener con:  $C' = 365 \sum (1+r)^{i-1}$ . 0 en la gráfica



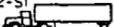
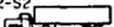
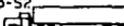
## CAPITULO II

## METODOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Estos 5 pasos mencionados es la explicación de la tabla que usa el Instituto para homogenizar el tránsito y está en el anexo 1.

Carretera \_\_\_\_\_ Tramo \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_

Notas \_\_\_\_\_

| TIPO DE VEHICULO  | Número de vehículos en ambas direcciones | Coeficiente de distribución | Número de vehículos en el carril de proyecto | Coeficiente de vehículos cargados o vacíos | Número de vehículos cargados o vacíos por carril $N_1, N_2$ | Coeficientes de daño por tránsito, $F_1, F_2$ |                | Número de ejes equivalentes de 8.2 ton. $M_1, M_2$ |         |
|---|--|-----------------------------|--|--|---|---|----------------|--|---------|
|   |  |                             |  |  |   | 2-0 cm  | 2-15 cm        | 2-0 cm   | 2-15 cm |
| A <sub>p</sub><br>                 |  |                             |  | C:<br>V:                                   |   | 0.005<br>0                                    | 0<br>0         |  |         |
| A <sub>c</sub><br>                 |  |                             |  | C:<br>V:                                   |   | 0.34<br>0.001                                 | 0.042<br>0     |  |         |
| B<br>                              |  |                             |  | C:<br>V:                                   |   | 2.0<br>2.0                                    | 1.150<br>0.640 |  |         |
| C <sub>2</sub><br>                 |  |                             |  | C:<br>V:                                   |   | 0.88<br>0.88                                  | 0.465<br>0.027 |  |         |
| C <sub>3</sub><br>                 |  |                             |  | C:<br>V:                                   |   | 0.88<br>0.88                                  | 0.675<br>0.044 |  |         |
| T <sub>2</sub> -S <sub>1</sub><br> |  |                             |  | C:<br>V:                                   |   | 3.0<br>3.0                                    | 1.740<br>0.140 |  |         |
| T <sub>2</sub> -S <sub>2</sub><br> |  |                             |  | C:<br>V:                                   |   | 4.0<br>4.0                                    | 1.570<br>0.210 |  |         |
| T <sub>3</sub> -S <sub>2</sub><br> |  |                             |  | C:<br>V:                                   |   | 5.0<br>5.0                                    | 1.300<br>0.150 |  |         |
| Total   |  |                             |  |  |   |   |                |  |         |

|  |  |
|--|--|
| NÚMERO DE VEHÍCULOS EN AMBAS DIRECCIONES | COEFICIENTE DE DISTRIBUCIÓN PARA EL CARRIL DE PROYECTO, $\alpha$ |
| 7  | 50   |
| 4  | 40-50  |
| 2-4 ó más                                | 30-40  |

$T_0, T_0'$ : Tránsito equivalente inicial

Años de servicio,  $n$ : \_\_\_\_\_ Tasa de crecimiento anual,  $r$ : \_\_\_\_\_ %

Coeficiente de acumulación del tránsito,  $C$ : \_\_\_\_\_

Tránsito acumulado,  $\sum L_n C_n$ : \_\_\_\_\_  $1/A C_0$

Anexo 1

De las características del material se manejan valores del VRS mínimos requeridos para cada una de las capas. El VRS crítico se manejará como:

$$VRS = (1 - 0.842v)$$

v = coeficiente de variación.

El método maneja gráficas que tienen como base los esfuerzos transmitidos a una profundidad z (por lo que tienen curvas, una cierta similitud por la distribución de esfuerzos de Boussinessq).

Maneja 2 gráficas de diseño de espesores con diferente coeficiente de seguridad a la falla funcional de la carretera.

Para el diseño del pavimento por el método del instituto de ingeniería se hace uso de la gráfica de diseño estructural propuesta por el mismo Instituto.

Para su uso requiere conocer el número de ejes equivalentes; entonces se traza, en la gráfica elegida una curva de igual resistencia relativa a la del tránsito calculado. De esta manera en la gráfica se puede proceder a calcular los espesores de las capas de las estructuras del camino que corresponden a la sub-rasante, sub-base, base y carpeta.

Para este cálculo se requiere de conocer en forma específica el VRS de cada una de las capas obtenida mediante pruebas de laboratorio o de campo. A los valores del VRS obtenidos se les calcula su valor de VRS crítico con la ecuación que sigue:

## CAPITULO II

## MÉTODOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

$$VRS_c = VRS (1 - Cv)$$

$VRS_c$  = Valor relativo de soporte crítico.

$VRS$  = Valor relativo de soporte medio en cada material.

$C$  = valor que depende del nivel de confianza.

$v$  = Coeficiente de variación de los valores de la prueba.

Los espesores totales del material equivalente que se deba de colocar sobre el terreno natural se determina dibujando una línea vertical partiendo del  $VRS$  correspondiente al suelo natural hasta, interceptar la curva de igual resistencia en un punto denominado crítico que se proyecta en el eje de las coordenadas de  $Z$  (fig. II. 5).

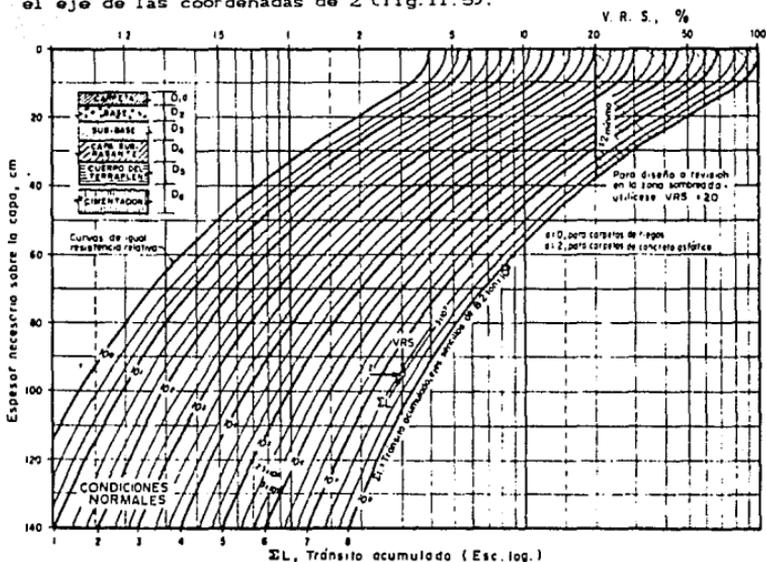


Fig. II. 5

Por lo general se acostumbra obtener el espesor total requerido para proteger a el suelo natural, que sería el de la suma de todas las capas.

Primero se obtiene el espesor de la sub-rasante, sacándolo de la gráfica, siendo la distancia vertical entre los puntos críticos correspondientes a los valores de VRS entre los del suelo natural y los de la sub-rasante. Luego se saca el espesor de la sub-base. Después se determinan los espesores mínimos de la carpeta haciéndose el proceso siguiente:

La diferencia entre el espesor total y la suma entre la subrasante y la sub-base nos proporcionará el espesor disponible para alojar la base y la carpeta en grava equivalente (a al resultado le llamaré  $Z_n$ ).

Ahora la ecuación estructural de espesores es:

$$Z_n = \sum A_i D_i$$

Se tiene entonces para la base y la carpeta:

$$Z_n = A_1 D_1 + A_2 D_2$$

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

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

$A_1, A_2$  = coeficientes de equivalencia de espesor real a grava equivalente.

Tabla de coeficientes de equivalencia  
de espesor real a grava equivalente

| Tipo de material                       | Índice de tránsito | Factor de grava equivalente |
|--|--------------------|-----------------------------|
|  | 5                  | 2.5                         |
|  | 6                  | 2.3                         |
|  | 7                  | 2.2                         |
|  | 8                  | 2.0                         |
| Carpeta de concreto                    | 9                  | 1.9                         |
| Asfáltico                              | 10                 | 1.8                         |
|  | 11                 | 1.7                         |
|  | 12                 | 1.6                         |
|  | 13                 | 1.6                         |
|  | 14                 | 1.5                         |
| Bases granulares de material triturado |                    | 1.1                         |
| Sub-bases y bases granulares naturales |                    | 1.0                         |

El espesor mínimo recomendable de  $D_1 = 5$  cm. Luego, al sustituir  $D_1$ ,  $A_1$  y  $A_2$  (dependiendo de los coeficientes a usarse) se resuelve la ecuación y se saca  $D_2$  resolviéndose así el problema.

### II.3 METODO DE HVEEM

Este método fue desarrollado por F.M. Hveem, basado en las pruebas de laboratorio propuestas por Hveem. Este método es de requerimientos múltiples, ya que debe de ser capaz de cumplir con condiciones de presión de expansión, de exudación, valor de estabilidad (estabilómetro) y resistencia

## CAPITULO II

## MÉTODOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

a la tensión por fricción medidas en las capas superiores del pavimento, medidas por medio del cohesiómetro.

Para el diseño se deben cubrir los requerimientos siguientes :

- 1) La evaluación del tránsito de vehículos.
- 2) La determinación del valor de R (valor del estabilómetro) tambien de los valores de presión de expansión y exudación.
- 3) Cálculo de espesores:
  - a) Espesor del pavimento por presión de expansión ( $e_e$ ).

$$e_e = \frac{P_e}{\gamma_m}$$

$P_e$  = presión de expansión ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ).  
 $\gamma_m$  = peso volumétrico medio ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ ).

- b) Espesor del pavimento por el valor de estabilidad ( $e_r$ ).

$e_r = 0.008 \text{ IT} (100-R)$

R = número de estabilidad de Hveem.

IT = índice de tránsito.

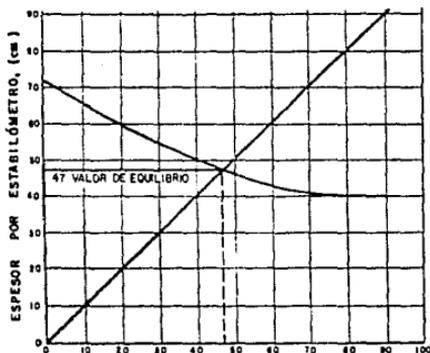
$$R = 100 - \frac{100}{\left( \frac{2.5}{D} \right) \left[ \left( \frac{P_v}{P_h} - 1 \right) + 1 \right]}$$

D = desplazamiento horizontal del espécimen que corresponde a una presión horizontal de  $7 \text{ kg}/\text{cm}$ .

$P_v, P_h$  = presión vertical y horizontal.

- 4) Se grafican los espesores anteriores para obtener el espesor de equilibrio, que satisface las condiciones de expansión y estabilidad. (fig II.6). En la cual se toman 3 puntos coordenados constituidos por espesores por expansión y espesores por estabilómetro.

DETERMINACIÓN DEL ESPESOR  
DE EQUILIBRIO



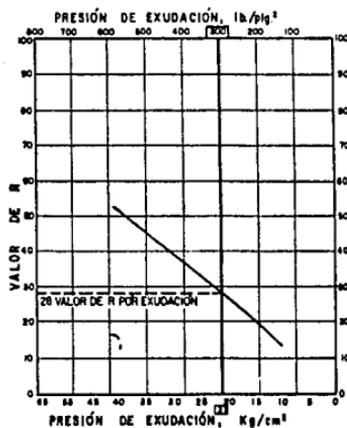
ESPESOR POR PRESIÓN  
DE EXPANSIÓN, ( cm )

Fig.II.6

## CAPITULO II

## METODOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

- 5) De la gráfica del instituto Norteamericano de Asfalto, se obtiene un espesor que cumple con las condición de la presión de exudación. En esta gráfica se entra con el valor de R por la presión de exudación permisible de  $21 \text{ kg/cm}^2$  (fig II.7).



- 6) Por último, el espesor total para el diseño será el que sea mayor de los 2 anteriores.

## CAPITULO II

## METODOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

### II.4 METODO DE McCLEOD

La fórmula propuesta por McCleod para calcular el espesor del pavimento es:

$$e = K \log (P/S)$$

e = espesor requerido de la base granular para colocar sobre la subrasante (cm o pulg.).

K = Constante de diseño (cm o pulg.) depende del diámetro de la placa.

P = carga de la rueda (Kg o Lb).

S = Soporte total de la subrasante (Kg o Lb).

El procedimiento es el siguiente:

Conocida la carga y la presión de inflado de la rueda de diseño, puede calcularse el área, el radio y el perímetro del área de contacto. Sobre la subrasante por usar deberá hacerse una prueba de placa con 10 aplicaciones sucesivas de una determinada presión hasta lograr una deformación de 0.508cm ó 0.2 ". Por medio de la gráfica propuesta por McCleod, que tiene valores en el eje de las abscisas de la relación perímetro entre el área; y en el eje de las ordenadas valores de la reacción de la subrasante en condiciones de trabajo entre la reacción bajo una placa de 12 " de diámetro, se correlaciona el valor de las distintas deflexiones admisibles bajo una rueda de diseño.

El valor unitario del soporte s es así obtenido y este valor multiplicado por el área de contacto de la llanta real da el valor del soporte total S que interviene en la fórmula, y el valor K es obtenido de otra gráfica propuesta

## CAPITULO II

## MÉTODOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

por McCleod (fig II.8 y Fig.II.9).

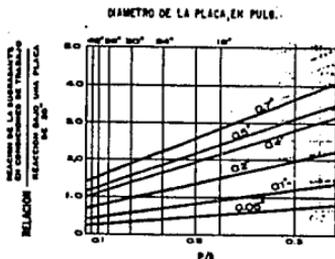


Fig II.8

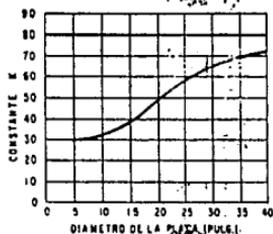


Fig II.9

Los datos requeridos son: carga de la rueda de diseño, la presión de inflado de la llanta de diseño, acotación de la deformación (generalmente de 0.5''), diámetro de la placa (12'' para carreteras), deformación producida por la placa y la presión aplicada en la placa.

### II.5 EJEMPLO

Con los datos de VRS de las capas diseñar el pavimento por los métodos siguientes:

| Capa            | VRS (%) | $VRS_c = VRS(1 - C_v)$ |
|-----------------|---------|------------------------|
| Terreno natural | 4.39    | 4.00                   |
| Subrasante      | 13.18   | 12.00                  |
| Sub-base        | 32.96   | 30.00                  |
| Base            | 87.91   | 80.00                  |

Para el  $VRS_c$  el valor  $C = 90\%$   $v = 10\%$ .

## CAPITULO II

## METODOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

a) Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Tipo de vehículo TPDA (Tránsito promedio diario anual)

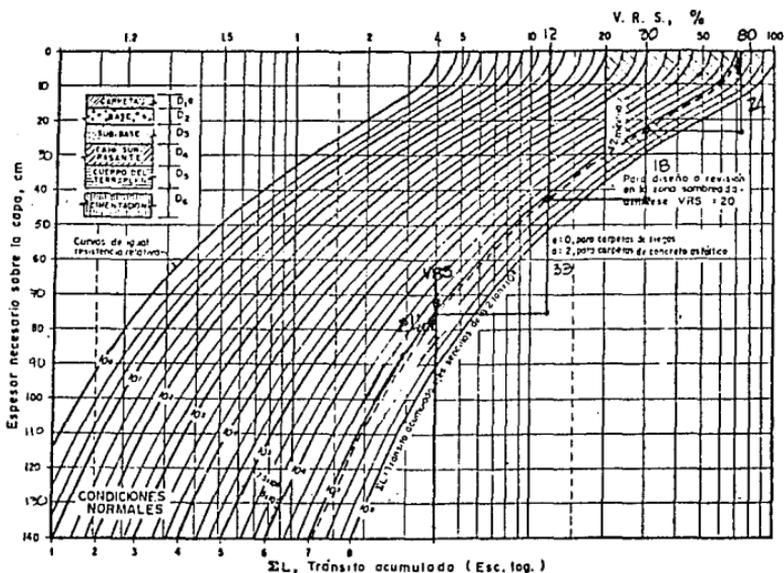
|       |      |
|-------|------|
| Ap    | 9100 |
| Ac    | 3500 |
| B     | 620  |
| C-2   | 835  |
| C-3   | 350  |
| T2-S2 | 92   |
| T3-S2 | 157  |

A continuación se muestra la tabla que se llena de acuerdo a II.2 de este capítulo.

El coeficiente de distribución que se toma es del 50% de acuerdo a la tabla en el recuadro de abajo a la izquierda. A continuación está el anexo 1 lleno para el ejemplo.

| TIPO DE VEHICULO   | Número de vehículos en ambas direcciones | Coeficiente de distribución                    | Número de vehículos en el carril de proyecto | Coeficiente de vehículos cargados o vacíos         | Número de vehículos cargados o vacíos por carril $N_1, N_2$ | Coeficientes de daño por tránsito, $F_1, F_2$ |                   | Número de ejes equivalentes de $H, 2 \text{ ton}, N_1, N_2, F_1, F_2$ |                   |  |  |  |  |         |        |
|--|--|--|--|--|---|---|-------------------|---|-------------------|--|--|--|--|---------|--------|
|  |  |  |  |  |   | $i=0 \text{ cm}$                              | $i=15 \text{ cm}$ | $i=0 \text{ cm}$  | $i=15 \text{ cm}$ |  |  |  |  |         |        |
| Ap    | 9100                                     | 0.5  | 4550   | C:<br>V:   |   | 0.005<br>0                                    | 0                 | 22.75   | 0                 |  |  |  |  |         |        |
| Ac    | 3500                                     | 0.5  | 1750   | C:<br>V:   |   | 0.34<br>0.005                                 | 0.042<br>0        | 595   | 73.50             |  |  |  |  |         |        |
| B   | 620                                      | 0.5  | 310  | C:<br>V:   |   | 2.0<br>2.0                                    | 1.150<br>0.640    | 20  | 55.5              |  |  |  |  |         |        |
| C2    | 835                                      | 0.5  |  | C:<br>V:   |   | 0.88<br>0.88                                  | 0.465<br>0.027    | 367.4   | 194.13            |  |  |  |  |         |        |
| C3    | 350                                      | 0.5  | 175  | C:<br>V:   |   | 0.88<br>0.88                                  | 0.675<br>0.044    | 154   | 118.13            |  |  |  |  |         |        |
| T2-S1   |  |  |  | C:<br>V:   |   | 3.0<br>3.0                                    | 1.740<br>0.140    |   |                   |  |  |  |  |         |        |
| T2-S2   |  |  |  | C:<br>V:   |   | 4.0<br>4.0                                    | 1.570<br>0.210    | 184   | 72.22             |  |  |  |  |         |        |
| T3-S2   |  |  |  | C:<br>V:   |   | 5.0<br>5.0                                    | 1.300<br>0.150    | 392.5   | 100.05            |  |  |  |  |         |        |
| <table border="1"> <tr> <td>NÚMERO DE CARRILES EN CADA SENTIDO</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>COEFICIENTE DE DISTRIBUCIÓN DEL CARRIL DE PROYECTO</td> <td>0.50</td> </tr> <tr> <td>6 u más</td> <td>0.30</td> </tr> </table> |  | NÚMERO DE CARRILES EN CADA SENTIDO             | 2  | COEFICIENTE DE DISTRIBUCIÓN DEL CARRIL DE PROYECTO | 0.50  | 6 u más                                       | 0.30              | Total   | 7327              |  |  | $I_0, I_0'$ : Tránsito equivalente inicial |  | 2335.65 | 916.50 |
| NÚMERO DE CARRILES EN CADA SENTIDO   | 2  |  |  |  |   |   |                   |   |                   |  |  |  |  |         |        |
| COEFICIENTE DE DISTRIBUCIÓN DEL CARRIL DE PROYECTO   | 0.50                                     |  |  |  |   |   |                   |   |                   |  |  |  |  |         |        |
| 6 u más  | 0.30                                     |  |  |  |   |   |                   |   |                   |  |  |  |  |         |        |
|  |  | Años de servicio, $n$ :                        | 15   |  |   | Tasa de crecimiento anual, $r$ :              |                   | 10  | %                 |  |  |  |  |         |        |
|  |  | Coeficiente de acumulación del tránsito, $C$ : | 11,700                                       |  |   |   |                   |   |                   |  |  |  |  |         |        |
|  |  | Tránsito acumulado, $\Sigma N_i C_i$ :         | 27'327,105                                   |  |   | $\Sigma L_n C_n$ :                            |                   | 10'723,401  |                   |  |  |  |  |         |        |

Fig II.5 con los datos para obtener  
los espesores del pavimento



## CAPITULO II

## METODOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

El espesor requerido para proteger el suelo natural es de 75 cm.

Para la subrasante, de la gráfica,  $75-42=33$  cm.

Para la sub-base, de la gráfica,  $42-24=18$  cm.

Para la carpeta y base, siguiendo el procedimiento descrito en II.2:

$$Z_n = A_1 D_1 + A_2 D_2$$

$$A_1 = 2 \text{ (para concreto asfáltico)}$$

$$A_2 = 1 \text{ (para bases hidráulicas)}$$

$$2D_1 = 17.5 \text{ cm (por que la sumatoria del tránsito acumulado EL' está comprendida en } 10^7 \text{). Por lo tanto } D_1 = 8.75 \text{ cm.}$$

$$Z_n = 24$$

Sustituyendo:

$$24 = (2) 8.75 + (1) D_2$$

Despejando  $D_2$ :

$$D_2 = 24 - 17.5$$

$$D_2 = 6.5$$

Finalmente:

| Capa       | Espesor (cm)                |
|------------|-----------------------------|
| Subrasante | 33                          |
| Sub-base   | 18                          |
| Base       | 6.5 --10 por especificación |
| Carpeta    | 8.75                        |

## b) Método VRS

| tipo de vehiculo | VPDA 1 sentido | Constante | CE 1 dirección |
|------------------|----------------|-----------|----------------|
| Ap               | 4550           | 280       | 1'274,000      |
| Ac               | 1750           | 280       | 490,000        |
| B                | 310            | 280       | 86,800         |
| C-2              | 417.5          | 280       | 116,900        |
| C-3              | 175            | 930       | 162,750        |
| T2-S2            | 46             | 1320      | 60,720         |
| Ta-S2            | 78.5           | 3190      | 250,415        |

$$\Sigma = 2'441,585$$

$$CE = P \times CE \text{ Fp}$$

$$CE = 15 (2'441,585) 2.5886$$

$$CE = 94'804,303.97$$

$$Fp = \frac{1 + \frac{VPDA_n}{VPDA_I}}{2}$$

$$\frac{VPDA_n}{VPDA_I} = (1+r)^n = (1+0.1)^{15}$$

$$\frac{VPDA_n}{VPDA_I} = 4.1772$$

$$Fp = \frac{1 + 4.1772}{2} = 2.5886$$

$$IT = 6.7 \left[ \frac{CE}{10^d} \right] 0.119$$

$$IT = 6.7 \frac{94'804,303}{10^d} = 11.51$$

Tabla para obtener el número diario de repeticiones de carga de rueda equivalente de la subrasante.

| Tipo de vehículo | Nº de la gráfica | Carga de los ejes ton | Valor X de la gráfica | Factor de equivalencia $10^6/X$ | VPDA O TPDA | Nº de rep. de rueda equiv. |
|------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------------|-------------|----------------------------|
| Ap Ac            | 1                | 1.80                  | 7'900000              | 0.126                           | 6200        | 781.20                     |
| B                | 2                | 2.25                  | $10^6$                | 1                               | 310         | 310                        |
| C-2              | 3                | 2.75                  | 195,000               | 5.13                            | 417.5       | 2141.78                    |
| C-3              | 4                | 4.00                  | 15,900                | 62.89                           | 175         | 11005.7                    |
| T2-S2            | 5                | 5.50                  | 3,800                 | 277.78                          | 46          | 12777.8                    |
| T3-S2            | 6                | 7.25                  | 250                   | 4000                            | 78.5        | 314,000                    |

VPDA<sub>i</sub> = Σ = 341,016.6

Tasa de crecimiento,  $r = 10\%$

Años de diseño,  $N = 15$  años

$$(1+r)^N = (1+0.1)^{15}$$

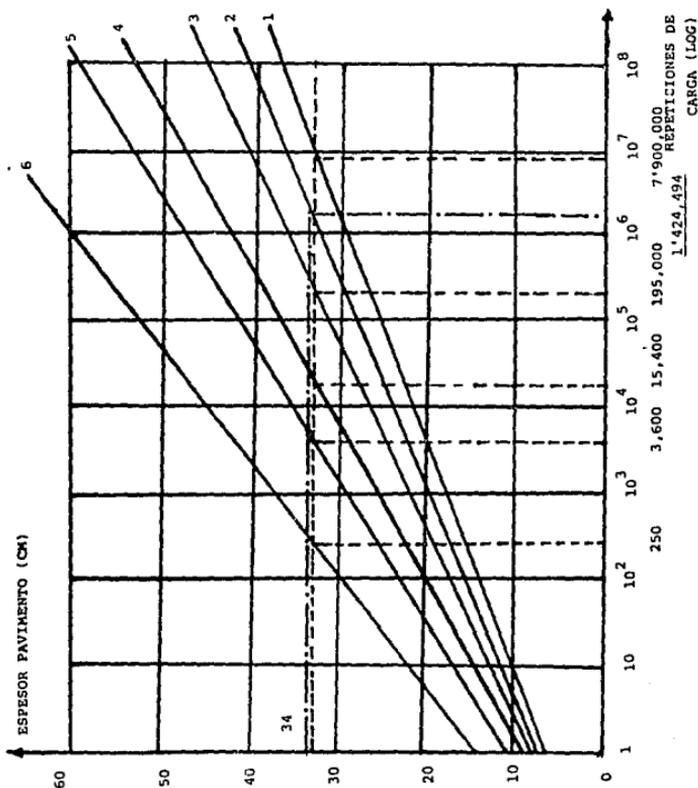
$$(1+r)^N = 4.1772$$

$$VPDA_n = (1+r)^N VPDA_i$$

$$VPDA_n = 4.1772 \times 341,016.6$$

$$VPDA_n = 1'424,494.58$$

Gráfica para obtener el espesor de la subrasante  
VRS capa inferior (suelo natural) = 4%



## CAPITULO II

## METODOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Tabla para obtener el número diario de repeticiones de carga de rueda equivalente de la sub-base.

| Tipo de vehículo | Nº de la gráfica | Carga de los ejes ton | Valor de la gráfica | Factor de equivalencia $10^6/X$ | VPDA O TPDA | Nº de rep. de rueda equiv. |
|------------------|------------------|-----------------------|---------------------|---------------------------------|-------------|----------------------------|
| Ap Ac            | 1                | 1.80                  | 7'100000            | 0.1408                          | 6200        | 872.96                     |
| B                | 2                | 2.25                  | $10^6$              | 1                               | 310         | 310                        |
| C-2              | 3                | 2.75                  | 316.000             | 3.164                           | 417.5       | 1320.97                    |
| C-3              | 4                | 4.00                  | 12,500              | 80                              | 175         | 14000                      |
| T2-S2            | 5                | 5.50                  | 2,275               | 439.56                          | 48          | 20219.7                    |
| T3-S2            | 6                | 7.25                  | 354                 | 2824.85                         | 78.5        | 221750                     |

$$VPDA_i = \Sigma = 258,474.4$$

Tasa de crecimiento,  $r = 10\%$

Años de diseño,  $N = 15$  años

$$(1+r)^N = (1+0.1)^{15}$$

$$(1+r)^N = 4.1772$$

$$VPDA_n = (1+r)^N VPDA_i$$

$$VPDA_n = 4.1772 \times 258,474.4$$

$$VPDA_n = 1'079,699$$

Gráfica para obtener el espesor de la sub-base  
 VRS capa inferior (subrasante) = 12%

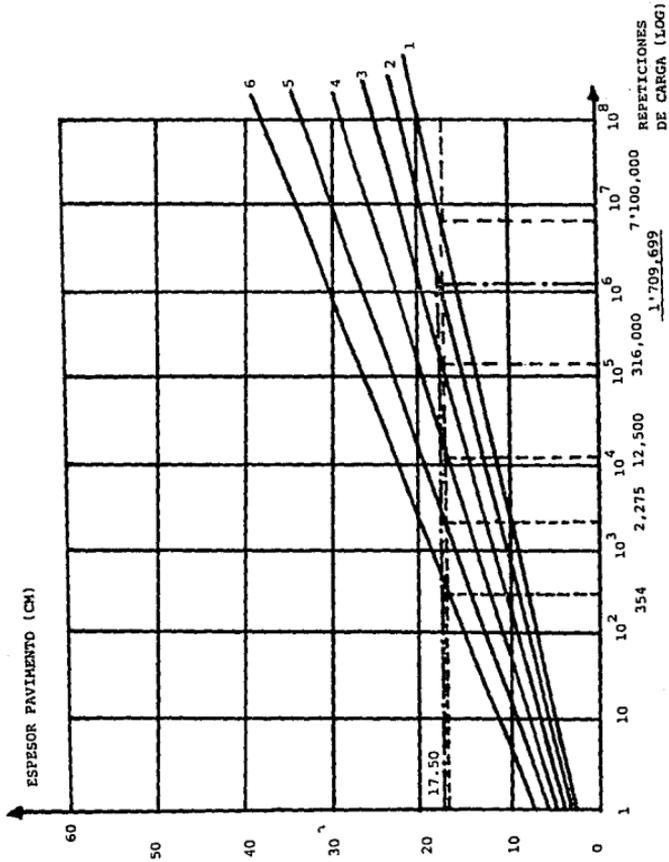


Tabla para obtener el número diario de repeticiones de carga de rueda equivalente de la base.

| Tipo de vehículo | Nº de la gráfica | Carga de los ejes ton | Valor X de la gráfica | Factor de equivalencia $10^6/X$ | VPDA O TPDA | Nº de rep. de rueda equiv. |
|------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------------|-------------|----------------------------|
| Ap Ac            | 1                | 1.80                  | $10^7$                | 0.1                             | 6200        | 620                        |
| B                | 2                | 2.25                  | $10^6$                | 1                               | 310         | 310                        |
| C-2              | 3                | 2.75                  | 211,300               | 4.73                            | 417.5       | 1974.77                    |
| C-3              | 4                | 4.00                  | 26,600                | 37.59                           | 175         | 6578.25                    |
| T2-S2            | 5                | 5.50                  | 7,000                 | 126.58                          | 46          | 5822.68                    |
| T3-S2            | 6                | 7.25                  | 1,200                 | 833.33                          | 78.5        | 65416.4                    |

$$VPDA_i = \Sigma = 80,722.11$$

Tasa de crecimiento,  $r = 10\%$

Años de diseño,  $N = 15$  años

$$(1+r)^n = (1+0.1)^{15}$$

$$(1+r)^n = 4.1772$$

$$VPDA_n = (1+r)^n VPDA_i$$

$$VPDA_n = 4.1772 \times 80,722.11$$

$$VPDA_n = 337,192.39$$

Gráfica para obtener el espesor de la base  
 VRS capa inferior (sub-base) = 30%

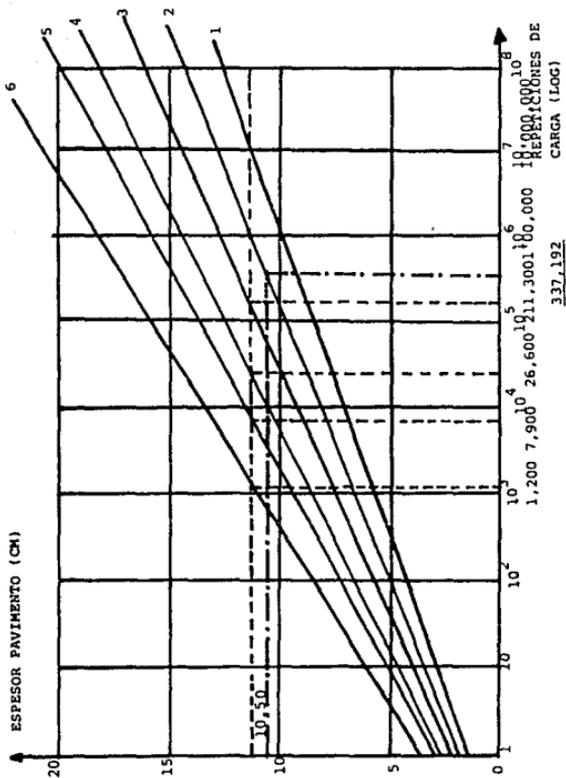


Tabla para obtener el número diario de repeticiones de carga de rueda equivalente de la carpeta.

| Tipo de vehículo | Nº de la gráfica | Carga de los ejes ton | Valor X de la gráfica | Factor de equivalencia $10^6/X$ | VPDA O TPDA | Nº de rep. de rueda equiv. |
|------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------------|-------------|----------------------------|
| Ap Ac            | 1                | 1.80                  | 5'100000              | 0.196                           | 6200        | 1215.20                    |
| B                | 2                | 2.25                  | $10^6$                | 1                               | 310         | 310                        |
| C-2              | 3                | 2.75                  | 266,000               | 3.75                            | 417.5       | 1565.62                    |
| C-3              | 4                | 4.00                  | $10^4$                | 100                             | 175         | 17500                      |
| T2-S2            | 5                | 5.50                  | 1230                  | 813                             | 46          | 37398                      |
| T3-S2            | 6                | 7.25                  | 18.83                 | 53106                           | 78.5        | 4168879                    |

$$VPDA_{\Sigma} = \Sigma = 4'266,867$$

Tasa de crecimiento,  $r = 10\%$

Años de diseño,  $N = 15$  años

$$(1+r)^N = (1+0.1)^{15}$$

$$(1+r)^N = 4.1772$$

$$VPDA_n = (1+r)^N \cdot VPDA_{\Sigma}$$

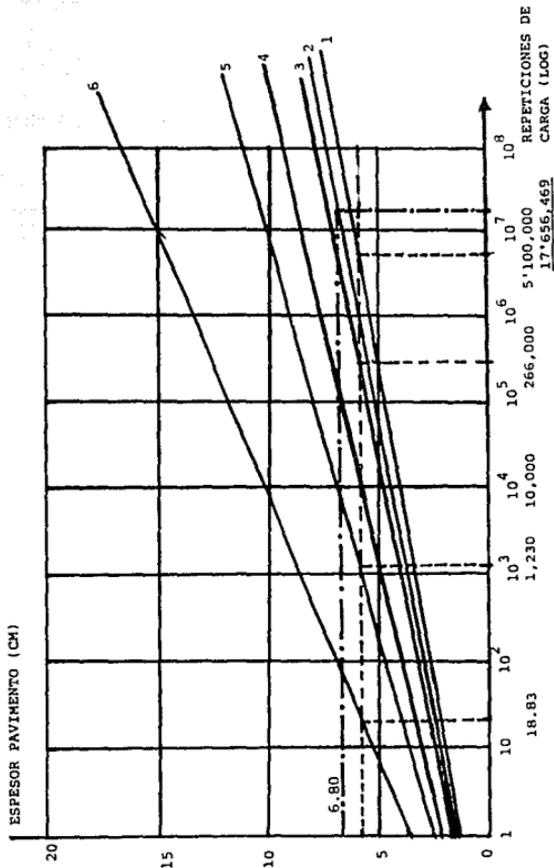
$$VPDA_n = 4.1772 \times 4'266,867$$

$$VPDA_n = 17'656,468.83$$

CAPITULO II

METODOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Gráfica para obtener el espesor de la carpeta  
 VRS capa inferior (base) = 80%



## II.6 COMPARACION DE LOS RESULTADOS

| CAPA      | M E T O D O                     |             |
|-----------|---------------------------------|-------------|
|           | Instituto de Ingenieria<br>(cm) | VRS<br>(cm) |
| Surasante | 33                              | 34          |
| Sub-base  | 18                              | 17.5        |
| Base      | 10                              | 10.5        |
| Carpeta   | 8.75                            | 8.8         |

**C A P I T U L O**

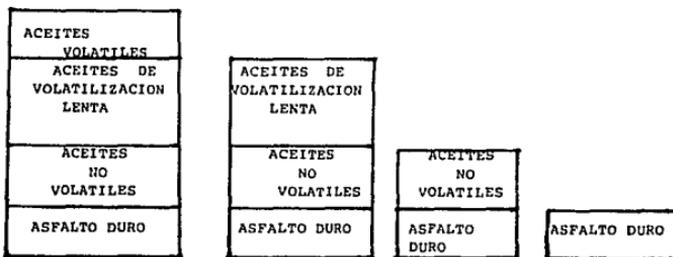
**I I I**

**ASFALTO Y AGREGADOS PETREOS**

## III .1 NATURALEZA

Los asfaltos son componentes naturales del petróleo en el cual se encuentran disueltos. La mayoría de los asfaltos que se emplean hoy en día provienen de la refinación del petróleo. El asfalto se produce en una gran variedad de tipos, desde los sólidos duros quebradizos hasta los fluidos casi tan líquidos como el agua. La forma semisólida conocida como cemento asfáltico es el material básico y puede considerarse como una combinación de asfalto duro y aceites no volátiles del petróleo. Los siguientes ejemplos son productos asfálticos obtenidos por destilación directa del petróleo crudo.

## Proceso de refinación



Disolviendo el cemento asfáltico (CA) en diferentes destilados volátiles del petróleo o emulsificándolos con el agua, se obtienen los productos asfálticos, que tienen las características de tener un alto valor cementante al usarse y de adquirir esta propiedad muy pronto.

## Productos asfálticos líquidos

|                                       |                            |                             |                       |
|---------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| ACEITES DE<br>VOLATILIZACION<br>LENTA | KEROSINA                   | GASOLINA                    | AGUA                  |
| CEMENTO<br>ASFALTICO                  | CEMENTO<br>ASFALTICO       | CEMENTO<br>ASFALTICO        | EMULSOR               |
| DE FRAGUADO<br>LENTO<br>FL            | DE FRAGUADO<br>MEDIO<br>FM | DE FRAGUADO<br>RAPIDO<br>FR | CEMENTO<br>ASFALTICO  |
|                                       |                            |                             | EMULSION<br>ASFALTICA |

## III.2 DEFINICION

El asfalto natural se obtiene por 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 del sol y del aire separan los aceites ligeros y los gases dejando un residuo que es el asfalto al cual está impregnado con cierto porcentaje de arcilla y/o arena fina. Se le conoce como depósitos o yacimientos como chapopoterías.

El asfalto se encuentra también en diferentes estados como:

-Roca asfáltica

Es una roca porosa que se encuentra en la naturaleza con cierto grado de impregnación asfáltica, que mediante el proceso de decantación se le extrae el asfalto.

-Gilsonita

Asfalto natural duro y quebradizo que se encuentra en las

endaduras de las rocas o betas, y este es extraído con vapor.

-Asfalto de lago

Es un asfalto de tipo natural que se encuentra en depósitos naturales o en depresiones de la tierra.

### III.3 TIPOS Y USOS

#### III.3.1 TIPOS

-Asfalto oxidado o soplado

Es un asfalto, el cual se le ha modificado alguna de sus características naturales debido a que se le ha inyectado aire a temperatura elevada durante su destilación; tiene un punto de fusión mas alto que el asfalto de la misma consistencia elaborado por simple destilación o evaporación.

-Cemento asfáltico

Es un asfalto refinado por destilación al vapor de los residuos más pesados del proceso de fraccionación continuando la destilación hasta obtener la penetración deseada, a través de dicha prueba. Un aspecto importante es la consistencia que da lugar al grado de fluidez o plasticidad a diferentes temperaturas.

El cemento asfáltico se le denomina con números, y en México existen el CA-3, CA-6, CA-7, CA-8; siendo el número 8 el más duro.

- Asfaltos rebajados.

Son productos asfálticos líquidos que se obtienen al disolver en el cemento asfáltico diferentes tipos de solventes como la gasolina o nafta, kerosina y aceites de baja volatilidad. Se utilizan para permitir un empleo del asfalto a temperaturas ambiente, o después de un calentamiento moderado. La viscosidad del asfalto disminuye con la acción fluidificante.

producto del petróleo, más o menos volátil; el fluidificante se evapora después de su empleo. El número de los asfaltos representa el grado de fluidez, y a número más alto representa mayor viscosidad.

Existen en México los asfaltos siguientes:

a) de fraguado rápido (FR-0,1,2,3,4).

Se llama así por que los fabrican con cierta cantidad de disolvente o material de corte, que se evapora rápidamente después de usarlo; éste disolvente puede ser nafta o gasolina.

b) de fraguado medio (FM-0,1,2,3,4).

Este tipo se fábrica mezclando asfalto con un disolvente de punto de ebullición intermedio de tipo keroseno, ya que no se evapora tan rápido como las gasolinas al ser regado o mezclado.

c) de fraguado lento (FL-1,2,3,4).

Estos se fabrican mezclando el asfalto con el gas-oil de alto punto de ebullición, ya que el gas-oil es un material semivolátil y necesita un periodo de curado más lento.

La siguiente tabla representa la cantidad de asfalto y solventes a 350°C. Especificaciones Generales de Construcción SAHOP parte octava.

| Producto  | Número | Asfalto(%) | Solvente(%) |
|-----------|--------|------------|-------------|
| FR, FM FL | 0      | 50         | 50          |
|           | 1      | 60         | 40          |
|           | 2      | 67         | 33          |
|           | 3      | 73         | 27          |
|           | 4      | 78         | 22          |

-Emulsión asfáltica

Sus elementos constituyentes son el agua, un emulsor y el cemento asfáltico (se explica más ampliamente adelante).

### III.3.2 USOS

Los usos del asfalto son múltiples pero aquí nos

enfocaremos a su uso en las vías terrestres; se utilizan para:

- Riegos de impregnación de la base, ya compactada y barrida, con el fin de que penetre un ligante fluido.
- Riegos de liga para que se haga una superficie a fin con la carpeta.
- Riegos de sello.
- Estabilizar suelos
- Hacer concretos asfálticos.
- Tratamientos superficiales.

#### III.4 EMULSIONES ASFALTICAS

Estas nacieron, hace algunos años, con el objetivo de de traer grandes ventajas constructivas debido a la facilidad de su empleo, ya que aventajó al empleo de los asfaltos tradicionales que se calentaban mediante procedimientos obsoletos. Aunque vale decir que actualmente los métodos de calentamiento resultan ser nuevamente cómodo trabajar con los asfaltos; sin embargo, el trabajar con emulsiones asfálticas, reduce el trabajo a utilizar los elementos indispensables para el transporte y colocación en la obra.

Su creación, fue el conseguir trabajar a las temperaturas ambiente con el asfalto ya que a esas temperaturas no fuera fácilmente manejable por encontrarse en estado semisólido.

Las emulsiones asfálticas son líquidas de color chocolate, casi tan fluidas como el agua y de la cual contiene entre un 40% y 50% tomando una parte importante en el conjunto.

Para conseguir que el agua y el cemento asfáltico queden bien emulsionados es necesario reducir al cemento

asfáltico a pequeñas gotas de tal manera que queden flotando en el agua. La estabilidad de ésta suspensión se logra proporcionándole a las gotas del cemento asfáltico una fuerza repulsiva que impida la unión de unas con otras, lo que hace que las dos fases, agua y cemento asfáltico, se mantengan separados.

El emulsor empleado es generalmente un agente químico constituido por productos tenso-activos que rebajan la tensión interfacial entre agua y cemento asfáltico, y carga a la vez eléctricamente a las pequeñas gotas de este, con lo que se consigue que haya una repulsión entre ellas. Del tipo de signo que recubre al producto árido, sea positivo o negativo nace la diferencia fundamental entre las emulsiones ácidas o las básicas (o catiónicas o aniónicas). Los áridos básicos (carga +) como las calizas tendrán afinidad con las básicas (carga -). Los materiales pétreos ácidos como la cuarcita y los silicios (de carga -), tendrán afinidad con emulsiones ácidas (carga +).

En el momento en que las partículas de cemento asfáltico son atraídas por la superficie del material pétreo, la emulsión deja de tener un comportamiento estable y rompe, quedando el cemento asfáltico incorporado en forma de película fina al material pétreo y el agua queda libre para que se evapore posteriormente.

Las emulsiones aniónicas rompen principalmente por deshidratación lo que en tiempo frío o húmedo el tiempo de curado de la misma se prolonga mucho. Por lo tanto las emulsiones catiónicas son insustituibles para ejecutar trabajos fuera de temporada.

Para lograr un buen trabajo con las emulsiones es necesario emplear un asfalto fluidificado que permiten, una vez rota la emulsión, disponer de un cemento asfáltico con una viscosidad apta para trabajar durante un periodo de tiempo mayor que el que se empleara si se utilizara un cemento asfáltico puro.

A las emulsiones asfálticas se les reconoce de acuerdo a la velocidad de rompimiento, y son rápido, medio y lento. La siguiente tabla representa a las emulsiones asfálticas catiónicas o aniónicas de acuerdo a su velocidad de rompimiento.

| Velocidad de rompimiento | Aniónicas |      | Cationicas |       |
|--------------------------|-----------|------|------------|-------|
| Rápido                   | RR-1      | RR-2 | RR-2K      | RR-3K |
| Medio                    | RM-2      |      | RM-2K      | RM-3K |
| Lento                    | RL-1      | RL-2 | RL-2K      | RL-3K |

El RR-1 difiere del RR-2 en que el segundo contiene más cemento asfáltico y por lo tanto es más viscoso.

el RR-3K difiere del RR-2K en que contiene un poco más de residuo asfáltico.

El RM-2K difiere del RM-3K en que el primero contiene menor cantidad de residuo asfáltico.

El RL-3K difiere del RL-2K en que el segundo contiene residuo menos duro.

El RL-2 difiere del RL-1 en que el primero contiene cemento asfáltico.

Cabe mencionar que su uso está sujeto al tipo de agregados empleados en la mezcla asfáltica.

### III.5 PROPIEDADES Y ESPECIFICACIONES DE LOS ASFALTOS

Los asfaltos deben satisfacer los requisitos que se indican en las tablas siguientes según sea el producto

## CAPITULO III

## ASFALTO Y AGREGADOS PETREOS

empleado. Estas son las especificaciones de Petróleos Mexicanos.

| CONCEPTO                                      | GRADO DEL CEMENTO ASFALTEO |                    |                    |                    |
|---|----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|   | Núm. 3                     | Núm. 6             | Núm. 7             | Núm. 8             |
| Punto de ignición (copa abierta de Cleveland) | 220°C<br>Mínimo            | 230°C<br>Mínimo    | 240°C<br>Mínimo    | 260°C<br>Mínimo    |
| Penetración, grados.                          | 180-200                    | 80-100             | 60-70              | 40-50              |
| Punto de Fusión.                              | 37-43°C                    | 45-52°C            | 48-56°C            | 52-60°C            |
| Ductilidad                                    | 100 cms.<br>Mínimo         | 100 cms.<br>Mínimo | 100 cms.<br>Mínimo | 100 cms.<br>Mínimo |
| Solubilidad en tetracloruro de Carbono.       | 99.5%<br>Mínimo            | 99.5%<br>Mínimo    | 99.5%<br>Mínimo    | 99.5%<br>Mínimo    |
| Pérdida por calentamiento.                    | 1%<br>Máximo               | 1%<br>Máximo       | 0.5%<br>Máximo     | 0.5%<br>Máximo     |

| PRUEBAS EN LA EMULSION   | TIPO DE EMULSION       |                        |
|--|------------------------|------------------------|
|  | Fraguado rápido        | Fraguado lento         |
| Viscosidad   | 100 máximo             | 100 máximo             |
| Residuo por destilación  | 57-58%                 | 58-60%                 |
| Achantamiento en 5 días  | 3%                     | 3%                     |
| Demulabilidad:<br>con 35 cc N/50 CaCl <sub>2</sub><br>con 50 cc N/10 CaCl <sub>2</sub> | 30% mínimo<br>---      | 1% mínimo              |
| Retenido en la malla 20  | 0.1% máximo            | 0.1% máximo            |
| Miscibilidad con cemento   | ---                    | ---                    |
| PRUEBAS EN EL RESIDUO DE DESTILACION   |                        |                        |
| Penetración del residuo Cenizas  | 100-200<br>0.5% máximo | 100-200<br>0.5% máximo |

| CONCEPTO   | GRADO DEL PRODUCTO |         |         |         |         |
|--|--------------------|---------|---------|---------|---------|
|  | FM-0               | FM-1    | FM-2    | FM-3    | FM-4    |
| PRUEBAS EN EL PROD. ORIGINAL   |                    |         |         |         |         |
| Punto de ignición mínima. (Copa abierta Cleveland)                   | 38°C               | 38°C    | 66°C    | 66°C    | 66°C    |
| Viscosidad Saybolt Furol:  |                    |         |         |         |         |
| a 25°C   | 75-150             | ---     | ---     | ---     | ---     |
| a 50°C   | ---                | 75-150  | ---     | ---     | ---     |
| a 60°C   | ---                | ---     | 100-200 | 250-500 | ---     |
| a 82°C   | ---                | ---     | ---     | ---     | 125-250 |
| Penetración del asfalto básico (grados).                             | 80-100             | 80-100  | 80-100  | 80-100  | 80-100  |
| Destilación: % del total destilado a 360°C                           |                    |         |         |         |         |
| Hasta 225°C  | 25 máx.            | 20 máx. | 10 máx. | 5 máx.  | 0       |
| Hasta 260°C  | 40-70              | 25-65   | 15-55   | 5-40    | 30 máx. |
| Hasta 315°C  | 75-93              | 70-90   | 60-87   | 55-85   | 40-80   |
| Residuo de la destilación a 360°C (% del volumen por diferencia mín. | 50                 | 60      | 67      | 73      | 78      |
| Penetración (grados).  | 120-300            | 120-300 | 120-300 | 120-300 | 120-300 |
| Ductilidad en cm mín.  | 100                | 100     | 100     | 100     | 100     |
| Solubilidad en tetracloruro de carbono % mín.                        | 99.5               | 99.5    | 99.5    | 99.5    | 99.5    |

| PRUEBAS EN EL PRODUCTO ORIGINAL.  | GRADO DEL PRODUCTO |        |         |         |         |
|---|--------------------|--------|---------|---------|---------|
|   | FR-0               | FR-1   | FR-2    | FR-3    | FR-4    |
| Punto de ignición (copa abierta de Cleveland).                            |                    |        | 35°C    | 35°C    | 35°C    |
| Viscosidad Saybolt Furol:   |                    |        |         |         |         |
| a 25°C seg.   | 75-150             | ---    | ---     | ---     | ---     |
| a 50°C seg.   | ---                | 75-150 | ---     | ---     | ---     |
| a 60°C seg.   | ---                | ---    | 100-200 | 250-500 | ---     |
| a 82°C seg.   | ---                | ---    | ---     | ---     | 125-250 |
| Penetración del asfalto básico (grados).                                  | 80-100             | 80-100 | 80-100  | 80-100  | 80-100  |
| Destilación: % del total destilado a 360°C.                               |                    |        |         |         |         |
| Hasta 190°C más de  | 15                 | 10     | —       | —       | —       |
| Hasta 225°C más de  | 55                 | 50     | 40      | 25      | 8       |
| Hasta 260°C más de  | 75                 | 70     | 65      | 55      | 40      |
| Hasta 315°C más de  | 90                 | 88     | 87      | 83      | 80      |
| Residuo de la destilación a 360°C (% del volumen por diferencia, mínima). | 50                 | 60     | 67      | 73      | 78      |
| PRUEBAS EN EL RESIDUO DE LA DESTILACION                                   |                    |        |         |         |         |
| Penetración, grados   | 80-120             | 80-120 | 80-120  | 80-120  | 80-120  |
| Ductilidad en cms. (mínimo)   | 100                | 100    | 100     | 100     | 100     |
| Solubilidad en tetracloruro de Carbono, % mínimo.                         | 99.5               | 99.5   | 99.5    | 99.5    | 99.5    |

| CONCEPTO   | GRADO DEL PRODUCTO |         |         |         |         |
|--|--------------------|---------|---------|---------|---------|
|  | FL-0               | FL-1    | FL-2    | FL-3    | FL-4    |
| <b>PRUEBAS EN EL RESIDUO ORIGINAL</b>                      |                    |         |         |         |         |
| Punto de Ignición mín. (copa abierta de Cleveland).        | 66°C               | 66°C    | 80°C    | 90°C    | 107°C   |
| Viscosidad Saybolt Furol                                   |                    |         |         |         |         |
| a 25°C seg.  | 75-150             | ---     | ---     | ---     | ---     |
| a 50°C seg.  | ---                | 75-150  | ---     | ---     | ---     |
| a 60°C seg.  | ---                | ---     | 100-120 | 250-500 | ---     |
| a 82°C seg.  | ---                | ---     | ---     | ---     | 125-250 |
| Penetración del asfalto básico (grados).                   | 80-100             | 80-100  | 80-100  | 80-100  | 80-100  |
| Destilación: Destilado total a 360°C, % volumen            | 15-40              | 10-30   | 5-25    | 2-15    | 10 máx. |
| Flotación a 50°C seg.                                      | 15-100             | 20-100  | 25-100  | 50-125  | 60-150  |
| Contenido de asfalto de 100 grados de penetración (aprox.) | 40 mín.            | 50 mín. | 60 mín. | 70 mín. | 75 mín. |
| Ductilidad en cm (mínimo).                                 | 1 100              | 100     | 100     | 100     | 100     |
| Solubilidad en Tetracloruro de carbono, % mínimo           | 99.5               | 99.5    | 99.5    | 99.5    | 99.5    |

**GRADOS DE PENETRACION SUGERIDOS PARA EL CEMENTO ASFALTICO A USAR SEGUN DETERMINADOS USOS Y CLIMAS**

| USOS                     | CLIMA CALIENTE O CLIMA TEMPLADO | CLIMA FRIO |
|--------------------------|---------------------------------|------------|
| <b>Aeropuertos:</b>      |                                 |            |
| Aeropistas               | 60-70                           | 120-150    |
| Calle de Rodaje          | 60-70                           | 85-100     |
| <b>Carrteras:</b>        |                                 |            |
| Tránsito pesado          | 60-70                           | 85-100     |
| Tránsito medio           | 85-100                          | 120-150    |
| Tránsito liviano         | 85-100                          | 120-150    |
| <b>Callez:</b>           |                                 |            |
| Tránsito pesado          | 60-70                           | 85-100     |
| Tránsito medio           | 85-100                          | 85-100     |
| Tránsito liviano         | 85-100                          | 85-100     |
| <b>Estacionamientos:</b> |                                 |            |
| Industriales             | 60-70                           | 60-70      |
| Comerciales              | 60-70                           | 85-100     |
| <b>Recreativos:</b>      |                                 |            |
| Canchas de tenis         | 85-100                          | 85-100     |
| Campos de Juego          | 85-100                          | 85-100     |

## III.6 LOCALIZACION DE BANCOS

Es un aspecto importante que requiere del desarrollo de criterios y técnicas. Localizar un banco es más que descubrir un lugar donde exista un volumen alcanzable y explotable de suelos y rocas, a emplearse en la construcción de un determinado tramo de la vía, satisfaciendo las especificaciones de calidad y requerimientos de volumen.

El problema tiene otras muchas variables ha de garantizarse que los bancos elegidos son los mejores entre todos los disponibles cubriendo varios aspectos:

- 1) La calidad de los materiales.
- 2) Lo más fácilmente accesibles y los que puedan explotar con los procedimientos más eficientes y menos costosos.
- 3) Los que produzcan las mínimas distancias de acarreo de los materiales a la obra.
- 4) Tienen que ser los que produzcan los procedimientos constructivos más sencillos y económicos durante su tendido y colocación final.

El ingeniero debe de disponer de un mapa donde aparezcan todos los posibles aprovechamientos de material que puedan interesar a la obra.

La búsqueda y localización de bancos puede hacerse principalmente por fotointerpretación y/o reconocimientos terrestres directos. La fotointerpretación es con mucho el mejor método para una localización preliminar ya que cubre grandes áreas a bajo costo; y del reconocimiento terrestre del futuro banco es indispensable, ya que en el deberá definirse la posibilidad de la explotación con su grado de dificultad y

los problemas que pueda tener.

Comunmente es necesario localizar bancos de material de terracerías para todas las capas del pavimento y muchas veces, un mismo banco puede proporcionar material para varios de esos usos, sometiendo el producto a diferentes tratamientos (como la eliminación de desperdicios, disgregación, cribado, triturado y lavado).

Los bancos de las terracerías conviene localizarlos no demasiado espaciados, para no dar lugar a distancias de acarreo excesivas. Las distancias comunes están entre los 5 Km entre un banco y otro, aunque podrá haber zonas en que la distancia sea mucho mayor.

En lo que se refiere a la subrasante, el requisito que condiciona adicionalmente a los bancos de materiales, es el de lograr la homogeneidad en longitudes significativas, para evitar que las estructuras y espesores suprayacentes varíen con demasiada frecuencia; las distancias comunes en éste caso se extienden hasta 10 Km.

En los materiales para base y sub-base, están condicionadas por los tratamientos mecánicos que se requieran, para satisfacer las normas de calidad establecidas; para los diferentes tratamientos se requieren de plantas y/o equipos especiales que no conviene mover mucho; por lo tanto las distancias de acarreo van hasta los 50 Km.

Los bancos para:

- Subrasante.

Suelen encontrarse en los esteros de los ríos, extendidos en

formaciones de roca muy alterada, en zonas limoarenosas como en los conos cineríticos o tobáceos.

- Sub-base y base.

Suelen encontrarse en palyones y márgenes de ríos, en frentes y cantiles rocosos, cerros relativamente elevados y de pendiente abrupta, etc.

-Agregados para concreto asfáltico.

Se obtienen casi siempre por trituración a partir de formaciones rocosas sanas.

### III.7 ESPECIFICACIONES DE LOS AGREGADOS PETREOS

Los materiales que deben de formar la subrasante se puede decir que con excepción a las turbas y a otros suelos altamente orgánicos en estado de composición, los demás son aptos como subrasantes siempre y cuando se les compacte en forma correcta.

Esta compactación es muy importante, ya que cuando un suelo está bien compactado aumenta generalmente su VRS y se hace más estable ya que reduciendose el volumen de vacíos se reduce también la capacidad del suelo a absorber agua. Sin embargo, es necesario que el grado de compactación que debe escogerse debe de ser bien estudiado pues algunos suelos con un alto porcentaje de compactación bajan ese porcentaje con el tiempo aunque parezca raro.

A continuación se muestra una tabla de normas que deben de cumplir los materiales (SAHOP Especificaciones generales de Construcción ).

Tabla de especificaciones de la SAHOP para materiales sello, base y sub-base.

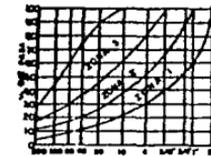


Tabla. Distribución del material para la composición granulométrica, independiente del tipo de arena.

Tabla. Distribución del material para la composición granulométrica, independiente del tipo de arena.

Tabla. Distribución del material para la composición granulométrica, independiente del tipo de arena.

| Grado | 75  | 150 | 300 | 600 | 1200 | 2400 | 4800 | 9600 | 19200 |
|-------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|-------|
| 1     | 100 | 100 | 100 | 100 | 100  | 100  | 100  | 100  | 100   |
| 2     | 100 | 100 | 100 | 100 | 100  | 100  | 100  | 100  | 100   |
| 3     | 100 | 100 | 100 | 100 | 100  | 100  | 100  | 100  | 100   |
| 4     | 100 | 100 | 100 | 100 | 100  | 100  | 100  | 100  | 100   |
| 5     | 100 | 100 | 100 | 100 | 100  | 100  | 100  | 100  | 100   |
| 6     | 100 | 100 | 100 | 100 | 100  | 100  | 100  | 100  | 100   |
| 7     | 100 | 100 | 100 | 100 | 100  | 100  | 100  | 100  | 100   |
| 8     | 100 | 100 | 100 | 100 | 100  | 100  | 100  | 100  | 100   |
| 9     | 100 | 100 | 100 | 100 | 100  | 100  | 100  | 100  | 100   |
| 10    | 100 | 100 | 100 | 100 | 100  | 100  | 100  | 100  | 100   |

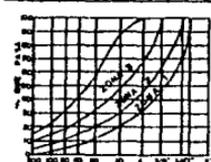


Tabla. Distribución del material para la composición granulométrica, independiente del tipo de arena.

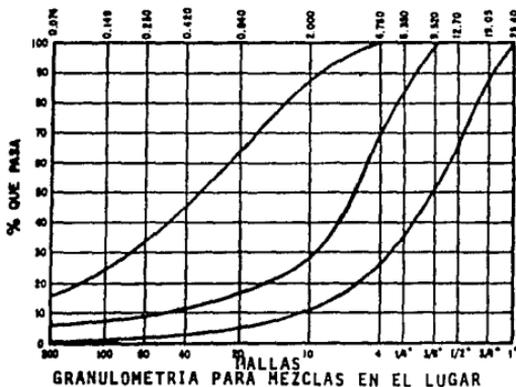
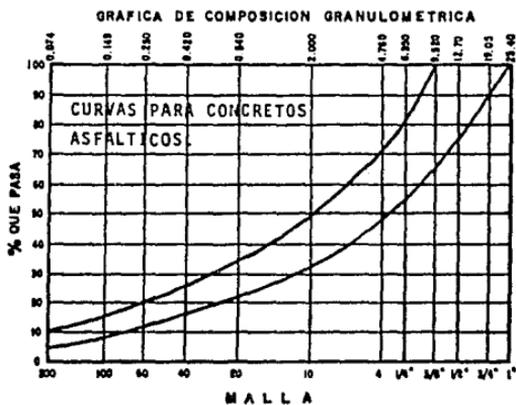
| PRUEBAS   |                                | ESPECIFICACIONES   |                         |                         |         |
|---|--------------------------------|--|-------------------------|-------------------------|---------|
|   |                                | SUB-BASE   | BASE                    | TABLA                   |         |
| GRANULOMETRIA                                     |                                | completa en arena 1 0 3  | completa en arena 1 0 3 | completa en arena 1 0 3 |         |
| Coeficiente de uniformidad                        | Zona 1                         | 4.0 máx.   | 4.5 máx.                | ---                     |         |
|   | Zona 2                         | 4.0 máx.   | 3.0 máx.                | ---                     |         |
|   | Zona 3                         | 4.0 máx.   | 3.0 máx.                | ---                     |         |
| Módulo de elasticidad                             | Zona 1                         | 2.0 mín.   | 2.0 mín.                | ---                     |         |
|   | Zona 2                         | 2.0 mín.   | 2.0 mín.                | ---                     |         |
|   | Zona 3                         | 2.0 mín.   | 2.0 mín.                | ---                     |         |
| Módulo de resiliencia                             | Zona 1                         | 5.0 mín.   | 5.0 mín.                | ---                     |         |
|   | Zona 2                         | 5.0 mín.   | 5.0 mín.                | ---                     |         |
|   | Zona 3                         | 5.0 mín.   | 5.0 mín.                | ---                     |         |
| Módulo de resiliencia de campo                    |                                | Mínimo de 500 unidades de resiliencia por día y por metro cuadrado de superficie | 50 mín.                 | 50 mín.                 | ---     |
| Módulo de resiliencia de laboratorio              |                                | Mínimo de 500 unidades de resiliencia por día y por metro cuadrado de superficie | 50 mín.                 | 50 mín.                 | ---     |
| Módulo de resiliencia de campo                    |                                | Mínimo de 500 unidades de resiliencia por día y por metro cuadrado de superficie | 50 mín.                 | 50 mín.                 | ---     |
| Módulo de resiliencia de laboratorio              |                                | Mínimo de 500 unidades de resiliencia por día y por metro cuadrado de superficie | 50 mín.                 | 50 mín.                 | ---     |
| Módulo de resiliencia de campo                    |                                | Mínimo de 500 unidades de resiliencia por día y por metro cuadrado de superficie | 50 mín.                 | 50 mín.                 | ---     |
| Empaque Real por ciento                           | Peso en frasco                 | ---  | ---                     | 6 máx.                  | 8 máx.  |
|   | Peso en partículas orientadas  | ---  | ---                     | 10 máx.                 | 10 máx. |
|   | Peso de fase liberada          | ---  | ---                     | 10 máx.                 | 10 máx. |
|   | Escurse no localizada          | ---  | ---                     | 10 máx.                 | 10 máx. |
|   | Módulo de resiliencia de campo | ---  | ---                     | 10 máx.                 | 10 máx. |
| Empaque Real Sugerido para cualquier tipo de agua |                                | ---  | ---                     | 6 máx.                  | 8 máx.  |
| Empaque Real Sugerido                             |                                | ---  | ---                     | 6 máx.                  | 8 máx.  |
| Empaque Real Sugerido                             |                                | ---  | ---                     | 6 máx.                  | 8 máx.  |
| Empaque Real Sugerido                             |                                | ---  | ---                     | 6 máx.                  | 8 máx.  |
| Empaque Real Sugerido                             |                                | ---  | ---                     | 6 máx.                  | 8 máx.  |

TAMA III 3 ESPECIFICACIONES DE LA SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS PARA MATERIALES DE CARPETA SELLO BASE Y SUB BASE Ref. Especificaciones generales de SAHOP

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 lascas cuando se les tritura (se consideran como lascas a los agregados que tengan una longitud mayor de 3 veces la dimensión menor del agregado).
- b) No deben emplearse agregados pétreos que contengan materia orgánica o arcilla en grumos.
- c) Los agregados pétreos no deben tener más del 20% de fragmentos suaves.
- d) Deben emplearse de preferencia secos o cuando mucho con una humedad igual a la de absorción de ese material.
- e) El tamaño máximo del agregado pétreo no deberá ser mayor que las  $\frac{2}{3}$  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 N°40 no debe tener una contracción lineal mayor de 3.
- h) Los materiales pétreos deben llenar las características granulométricas tales que su curva graficada debe quedar dentro de las zonas marcadas por las curvas siguientes, según sea al caso.

## MATERIALES PETREOS PARA CARPETAS ASFALTICAS



**C A P I T U L O**

**I V**

**DESCRIPCION DEL PROCESO  
CONSTRUCTIVO**

## IV.1 COMPACTACION

Se llama compactación de los suelos al proceso mecánico por el cual se busca mejorar las características de resistencia, compresibilidad y esfuerzo-deformación de los mismos; por lo general el proceso implica una reducción más o menos rápida de vacíos y por lo tanto en el suelo ocurren cambios de volumen importantes ligados a la pérdida de aire y no de agua durante la compactación.

Otra definición es el proceso por medios artificiales, por el cual se pretende obtener mejores características de los suelos de tal manera que la obra resulte duradera y cumpla con el objetivo con la que fue proyectada.

El objetivo principal es el de obtener un suelo mejorado para que tenga un comportamiento mecánico adecuado durante la vida útil del camino.

Las características a mejorar serían:

- a) Resistencia
- b) Compresibilidad
- c) Esfuerzo-deformación
- d) Flexibilidad
- e) Resistencia a la erosión

Es importante mencionar que la compactación resulta ser un proceso de objetivos múltiples, es evidente también que una compactación intensa produce un material resistente pero sin duda muy susceptible al agrietamiento, por lo tanto, el proceso debe de ser bien realizado, con control de calidad y verificación de campo y laboratorio; un aspecto importante para la compactación es el aumento de peso volumétrico ya que este va ligado al mejoramiento de las características fundamentales (las ya mencionadas). En los suelos finos, su

estructuración y la forma de sus partículas hace más difícil mejorar sus características fundamentales que en los suelos gruesos

En rigor la compactación es uno de los varios medios de que hoy se dispone para mejorar la condición de un suelo que haya de usarse en Ingeniería, es de los más eficientes y de aplicación universal.

#### METODO DE MEJORAMIENTO DE SUELOS

##### METODOS

###### FISICOS

- Confinamiento (suelos friccionantes)
- Consolidación previa (suelos finos arcillosos)
- Mezclas (suelo con suelo)
- Vibroflotación

###### QUIMICOS (estabilizaciones)

- Con sal
- Con cemento
- Con asfalto
- Con cal
- Otros

###### MECANICOS

- Compactación

Por lo general las técnicas de compactación se aplican estructuras de tierras artificiales, (hechos por el hombre) tales como cortinas para presas de tierra, diques, bordos de defensa, terraplenes para caminos y FFCC, PAVIMENTOS, etc.

#### IV 1.1 VARIABLES QUE INTERVIENEN EN LA COMPACTACION

Los suelos pueden comportarse de varias maneras y en cada caso se tendra un un resultado diferente, y tambien una forma de compactación dara resultados diferentes si se aplica a suelos diversos.

Si una misma forma de compactación se aplica a un suelo determinado, podrán obtenerse resultados muy diferentes si de un caso a otro varían ciertas condiciones de los que prevalecen en dicho suelo. Con todo esto se desprende que, que los resultados de un proceso de compactación dependen de varios factores, unos que atañen al tipo de suelos, otros relativos al método de compactación que se emplee y por último, varios más que se refieren a determinadas circunstancias que existen en el momento de la compactación.

#### a) LA NATURALEZA DEL SUELO

Es claro que la clase de suelo con que se trabaja influye mucho en el proceso de compactación y de hecho deberán de definirse las técnicas a emplear y los resultados que se obtengan con el suelo especificado. Se distinguen principalmente a los suelos finos, gruesos, arcillosos y friccionantes. Una buena selección del procedimiento se refleja en el peso volumétrico seco máximo, obteniendo así mejores resultados.

#### b) EL METODO DE COMPACTACION

En el laboratorio resulta bastante fácil clasificar los métodos de compactación en uso en 3 tipos bien diferenciados: por impacto, amasado, y aplicación de carga estática. Al tratar métodos de compactación diferentes no es posible hacer comparaciones a igual energía de compactación, a causa de los factores imponderables que influyan en la eficiencia del proceso de compactación y en la magnitud misma

de la energía aplicada al suelo.

c) LA ENERGIA ESPECIFICA

Se entiende por energía específica de compactación a la que se entrega al suelo por unidad de volumen, durante el proceso mecánico que se trate. Es muy fácil evaluar la energía específica en una prueba de laboratorio, por ejemplo en la que compacta por impactos a un suelo dado por un pisón y se calcula con la expresión siguiente:

$$E_c = \frac{N \cdot n \cdot W \cdot h}{V}$$

donde:

$E_c$  = energía específica.

$N$  = número de golpes del pisón compactador por cada una de las capas en que se acomoda el suelo en el molde de compactación.

$n$  = número de capas que se disponen para llenar el molde.

$W$  = peso del pisón compactador.

$h$  = altura de caída del pisón al aplicar los impactos al suelo.

$V$  = volumen del molde de compactación igual al volumen total del suelo compactado.

d) EL CONTENIDO DEL AGUA DEL SUELO

Es muy importante ya que Proctor comprobó que es fundamental esta variable durante el proceso de compactación. Proctor observó que con contenidos de agua creciente a partir de valores pequeños, se obtenían más altos pesos específicos secos para el material compactado, si se usa la misma energía de compactación; pero observó también que esta tendencia no se mantiene indefinidamente, ya que cuando la humedad pasa de cierto valor, disminuyen los pesos específicos secos logrados.

Y esto es obvio ya que si a algún suelo se le agrega agua de más el suelo se hace chicloso. Con todo esto Proctor puso de manifiesto que para un suelo dado y usando determinado procedimiento de compactación, existe un contenido de agua, llamado el óptimo que produce el máximo peso volumétrico seco.

#### e) OTRAS VARIABLES

Serían: el contenido de agua original del suelo, el sentido en el que se recorre la escala de humedades al efectuar la compactación, la recompactación, la temperatura, el número y espesor de capas en las que se va colocando el suelo, el número de pasadas del equipo y el equipo utilizado, etc.

### IV.1.2 GRADO DE COMPACTACION

El peso volumétrico en el campo se fija en una prueba de laboratorio. Como consecuencia de la diferencia existente entre los procesos de compactación en el campo y en el laboratorio, casi siempre sucede que el peso volumétrico que se obtiene en el campo no es idéntico al peso volumétrico seco máximo ( PVS<sub>M</sub> ) de la prueba del laboratorio que sirvió de base al estudio. La diferencia entre ambos valores, se mide a través del concepto de grado de compactación.

#### DEFINICION

Se le llama grado de compactación de un suelo compactado en la obra a la relación en porcentaje, entre el peso volumétrico seco obtenido, por el equipo en el campo y el máximo correspondiente a la prueba del laboratorio.

El grado de compactación de un suelo es:

## CAPITULO IV

## DESCRIPCION DEL PROCESO CONSTRUCTIVO

$$G_c (\%) = 100 \frac{\gamma_d \text{ campo}}{\gamma_d \text{ máx laboratorio}}$$

$\gamma_d$  campo = peso volumétrico seco en campo.

$\gamma_d$  máx = peso volumétrico seco máximo en laboratorio

Se sabe que esta expresión tiene defectos y podría decirse que es inadecuado para evaluar la calidad lograda por cierto equipo en el campo. Debido a que, por ejemplo, un material en estado suelto puede tener un grado de compactación del 80% y otro con el 80%, éste último se compacta a 80% y se observa que tiene mejores propiedades mecánicas que el primero aunque tengan el mismo grado de compactación.

Tomando en cuenta lo anterior, algunas instituciones han adoptado una relación diferente para medir la compactación alcanzada en el campo, llamada compacidad relativa, y se expresa de la manera siguiente:

$$C_r (\%) = 100 \frac{\gamma_d - \gamma_d \text{ mín}}{\gamma_d \text{ máx} - \gamma_d \text{ mín}}$$

$\gamma_d$  máx = PVSM en el laboratorio.

$\gamma_d$  mín = PVSM mínimo.

$\gamma_d$  = peso volumétrico seco del material compactado en la obra.

Esta relación tiene la ventaja de no caer en la similitud del grado de compactación, pues aquí un material totalmente suelto tiene 0% de compactación relativa, pero tiene el inconveniente de que no existe un procedimiento estándar para determinar el peso volumétrico mínimo.

De cualquier manera, el concepto de grado de

compactación sigue siendo el método más usual para fijar el requisito de compactación que ha de lograrse en el campo.

#### IV.2 LA IMPORTANCIA DE LA COMPACTACION

La necesidad de compactar los suelos que habrían de integrar una obra de tierra, como lo son los pavimentos, fue quizás uno de los primeros conocimientos empíricos que el constructor primitivo derivó de su experiencia, posiblemente por accidente. Se descubrió que los suelos compactados tienen un mejor comportamiento comparado con los sueltos. Indicio de esto son los bordos construidos en China antes de nuestra era así como los erigidos en América por los Mexicanos en el Siglo XV.

La compactación fue entonces generada como un medio para obtener obras más duraderas y con mejores propiedades mecánicas para una mejor operación.

El éxito de los pavimentos, depende en gran medida de la importancia de la compactación, de la cual se obtendrá un comportamiento adecuado debido a la mejoría de las características mecánicas de las terracerías; ya que si no se compactaran las terracerías, el pavimento se empezaría a deformar, agrietar debido a las cargas impuestas por el tránsito.

##### IV.2.1 RECOMENDACIONES EN TRABAJOS DE COMPACTACION

Desde luego, el primer requisito es conocer bien los suelos a compactar; conocimiento que se logra por medio de la exploración general que produce el estudio geotécnico del proyecto, y que comprende también el estudio de los bancos de préstamo de los que se extraerán, para su conocimiento es necesario obtener muestras representativas.

Otro aspecto fundamental es la selección de equipo y de las condiciones estructurales que se desean obtener, de acuerdo a las condiciones de la vía terrestre a construir. Las condiciones más importantes que se deben ponderar antes de seleccionar el equipo, son:

- Tipo de suelo
- Variaciones del suelo dentro de la obra
- Tamaño e importancia de la obra a ejecutar
- Especificaciones de compactación fijadas por proyecto
- Tiempo disponible para ejecutar el trabajo
- Equipo del que se dispone.

Para la selección de un equipo de compactación es un asunto de economía, fundamentalmente. En consecuencia, el Ingeniero suele tener varias alternativas de equipo, para lo cual se recomiendan tablas para elegir el equipo en forma adecuada; y se recomiendan, las siguientes:

## CAPITULO IV

## DESCRIPCION DEL PROCESO CONSTRUCTIVO

| SIMBOLO    | SUCS* | MATERIAL                   | TAMPER      | TAMPER    | PATA DE CABRA | PATA DE CABRA | LSO                | LSO                | PATA DE CABRA      | PATA DE CABRA      | NEUMATICO | NEUMATICO |
|------------|-------|----------------------------|-------------|-----------|---------------|---------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------|-----------|
|            |       |                            | AUTOPULSADO | REMOLCADO | AUTOPULSADO   | REMOLCADO     | VIBRATORIO PEQUEÑO | VIBRATORIO PEQUEÑO | VIBRATORIO, PESADO | VIBRATORIO, PESADO | LIGERO    | PESADO    |
|            |       | GRANULAR LIMPIO            |             |           |               |               | 1                  | 1                  |                    |                    | 3         | 2         |
|            |       | GRANULAR CON POCOS FIJOS   | 1           | 1         |               |               | 1                  | 1                  | 2                  | 2                  |           | 2         |
|            |       | ROCA                       | 2           | 2         |               |               | 1                  | 1                  | 2                  | 2                  |           | 2         |
| GW, GP, SW |       | ARENA, GRAVA               | 2           | 2         |               |               | 1                  | 1                  | 2                  | 2                  |           | 2         |
| SP         |       | ARENA UNIFORME             |             |           |               |               | 1                  | 1                  | 2                  | 2                  |           | 3         |
| SM, GM     |       | ARENAS O GRAVAS LIMOSAS    | 1           | 1         | 4             | 4             | 3                  | 3                  | 2                  | 2                  |           | 2         |
| ML, MH     |       | LIMOS                      | 1           | 1         | 2             | 2             |                    |                    | 3                  | 3                  |           | 2         |
| GC, SC     |       | ARENAS O GRAVAS ARCILLOSAS | 1           | 1         | 2             | 2             |                    |                    | 3                  | 3                  |           | 2         |
| CH, CL     |       | ARCILLAS                   | 1           | 1         | 2             | 2             |                    |                    |                    |                    | 3         | 3         |



| Simbolo | Características de compactibilidad | Peso volumétrico seco máx. típico (Proctor estándar ton/m <sup>3</sup> ) | Compresibilidad y expansión | Permeabilidad y características de drenaje | Características como material de terraplén | Características como subrasante | Características como base | Características como pavimento ligero | Características como pavimento provisional |
|---------|------------------------------------|--|-----------------------------|--|--|---------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|--|
|---------|------------------------------------|--|-----------------------------|--|--|---------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|--|

|    |  |           |                    |                               |  |                   |                 |                |                 |
|----|--|-----------|--------------------|-------------------------------|--|-------------------|-----------------|----------------|-----------------|
| GW | Buenas. Rodillos lisos vibratorios, rodillo neumático. Respuesta perceptible al bandedo con tractor. | 1.9 a 2.1 | Prácticamente nula | Permeable. Muy buenas         | Muy estable                                | Excelente         | Muy buena       | Regular a mala | Excelente       |
| GP | Buenas. Rodillos lisos vibratorios, rodillo neumático. Respuesta perceptible al bandedo con tractor. | 1.8 a 2.0 | Prácticamente nula | Permeable. Muy buenas         | Estable                                    | Buena a excelente | Regular         | Pobre          | Regular         |
| GM | Buenas. Rodillos neumáticos o pata de cabra ligeros.   | 1.9 a 2.2 | Ligera             | Semipermeable. Drenaje pobre. | Estable                                    | Buena a excelente | Regular a mala  | Pobre          | Regular a pobre |
| GC | Buenas o regulares. Rodillos neumáticos o pata de cabra.   | 1.8 a 2.1 | Ligera             | Impermeable. Mal drenaje      | Estable                                    | Buena             | Regular a buena | Excelente      | Excelente       |
| SW | Buenas. Rodillos neumáticos o vibratorios.   | 1.7 a 2.0 | Prácticamente nula | Permeable. Buen drenaje       | Muy estable                                | Buena             | Regular a mala  | Regular a mala | Buena           |
| SP | Buenas. Rodillos neumáticos o vibratorios.   | 1.6 a 1.9 | Prácticamente nula | Permeable. Buen drenaje       | Razonablemente estable en estado compacto. | Regular a buena   | Mala            | Mala           | Regular a mala  |

| Sim-bolo | Características de compatibilidad                         | Peso volumétrico seco máx. típico (protector estándar ton/m <sup>3</sup> ) | Compresibilidad y expansión | Permeabilidad y características de drenaje | Características como material de terrapién | Características como sub-base | Características como base | Características como pavimento provisional o revestimiento ligero |                |
|----------|---|--|-----------------------------|--|--|-------------------------------|---------------------------|---|----------------|
|          |   |  |                             |  |  |                               |                           | tratamiento asfáltico   |                |
| SM       | Buenas. Rodillos neumáticos o patas de cabra.             | 1.7 a 2.0  | Ligera                      | Impermeable. Mal drenaje                   | Razonablemente estable en estado compacto  | Regular a buena               | Mala                      | Mala  | Regular a mala |
| SC       | Buenas o regulares. Rodillos neumáticos o patas de cabra. | 1.6 a 2.0  | Ligera a media              | Impermeable. Mal drenaje                   | Razonablemente estable                     | Regular a buena               | Regular a mala            | Excelente   | Excelente      |
| ML       | Buenas a malas. Rodillos neumáticos o patas de cabra.     | 1.5 a 1.9  | Ligera a media              | Impermeable. Mal drenaje                   | Mala estabilidad si no está muy compacto   | Regular a mala                | No debe usarse            | Mala  | Mala           |
| CL       | Regulares a buenas. Rodillos patas de cabra o neumáticos  | 1.5 a 1.9  | Media                       | Impermeable. No drena                      | Buena                                      | Regular a mala                | No debe usarse            | Mala  | Mala           |
| OL       | Regulares a malas. Rodillos patas de cabra o neumáticos.  | 1.3 a 1.6  | Media a alta                | Impermeable. Mal drenaje                   | Inestable. Debe evitarse su uso            | Mala                          | No debe usarse            | No debe usarse  | No debe usarse |
| MH       | Regulares a malas. Rodillos patas de cabra o neumáticos.  | 1.1 a 1.6  | Alta                        | Impermeable. Mal drenaje                   | Inestable. Debe evitarse su uso            | Mala                          | No debe usarse            | Muy mala  | Muy mala       |
| CH       | Regulares a malas. Rodillos patas de cabra.               | 1.3 a 1.7  | Muy alta                    | Impermeable. No drena                      | Regular. Vigílese la expansión             | Mala o muy mala               | No debe usarse            | Muy mala  | No debe usarse |
| OH       | Regulares a malas. Rodillos patas de cabra.               | 1.0 a 1.6  | Alta                        | Impermeable. No drena                      | Inestable. Debe evitarse su uso            | Muy mala                      | No debe usarse            | No debe usarse  | No debe usarse |
| Pi       | No debe usarse  | —  | Muy alta                    | Regular o mal drenaje                      | No debe usarse                             | No debe usarse                | No debe usarse            | No debe usarse  | No debe usarse |

## Simbología:

|                              |                              |
|------------------------------|------------------------------|
| GW=grava bien graduada       | GP=grava mal graduada        |
| GM=grava con limos           | GC=grava arcillosa           |
| SW=arena bien graduada       | SP=arena mal graduada        |
| MH=limo alta compresibilidad | ML=limo baja compresibilidad |
| CH=arcilla alta comp.        | CL=arcilla alta comp.        |
| OH=orgánico alta comp.       | Pt=turba                     |

## IV 2.3 PRUEBAS DE COMPACTACION

Debido a la importancia de de llevar un control en los trabajos de compactación en el campo, se hacen pruebas en laboratorio; aquí se nombrará la de mayor uso, debido a que hay distintas pruebas. Esta prueba es dinámica y es la prueba Proctor y Proctor modificada que se describe a continuación:

Proctor establece que hay una correspondencia entre el peso volumétrico seco de un suelo compacto y su resistencia. Consiste en tomar una muestra representativa, de humedad conocida, en un cilindro de 4" de diámetro por 4.5 de altura, el cual se llena en 3 capas, las cuales se compactan, dándole 25 golpes con un martillo de 2.5 Kg con un área de contacto de 20 cm<sup>2</sup>, dejándose caer a una altura de 35 cm, con el objeto de dar al material la misma energía de compactación.

Una vez realizado esto se pesa el material, y como el volumen es conocido se calcula el peso volumétrico húmedo al dividirlo entre su volumen. Como la humedad es conocida, se resta el peso del agua y se obtiene el peso volumétrico seco para esa humedad. Se repite la prueba varias veces, variando la humedad, con lo que se obtendrán pares de valores

constituidos por Chumedad, peso volumétrico seco) y se hace la gráfica. (Fig. IV.1)

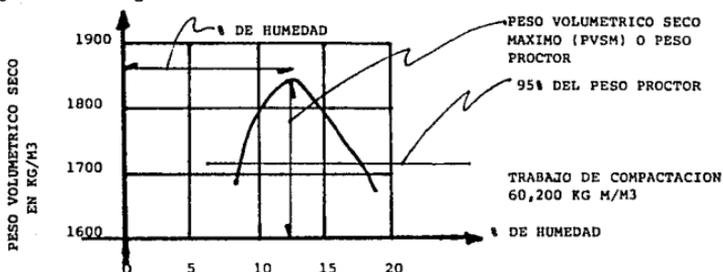


Fig IV.1

Por ejemplo si el % de compactación es del 95%, quiere decir que se debe de obtener un peso volumétrico seco, mínimo del 95% del PVS Máx o peso Proctor.

La prueba Proctor modificada es semejante solo que difiere en que se compactarán 5 en vez de 3 capas, cayendo el martillo a una altura de 45cm. dando 25 golpes por capa, con esto se aumentará el trabajo de compactación aproximadamente 4.5 veces por lo que la densidad aumenta 9% y la humedad óptima disminuye 3%.

### IV.3 MAQUINARIA EMPLEADA Y SUS USOS EN LA CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

#### IV.3.1 EN LA COMPACTACION

Se llamará maquinaria de compactación a todo equipo de Ingeniería Civil destinado a compactar un suelo o capas de materiales de mejoramiento.

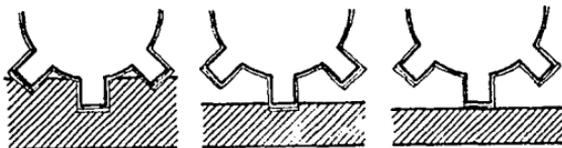
## IV.3.1.1 CLASIFICACION

## a) Por amasado

Este método amasa al suelo para compactarlo, este proceso produce una distribución uniforme de energía de compactación en cada capa y una buena liga entre las sucesivas. Su utilización es óptima para los suelos finos.

## - Rodillo pata de cabra

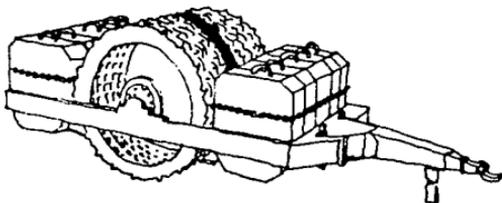
tienen como elementos activos unos cilindros metálicos erizados de protuberancias generalmente fijas llamadas patas de cabra; cuya longitud es poco variable (17 a 26 cm.) y su superficie de apoyo es alrededor de  $10 \text{ cm}^2$ , su forma de apoyo puede ser circular, cuadrada o rectangular.



Rodillo pata de cabra

## - Rodillo de rejillas

Es utilizado principalmente para material que requiere disgregación, en el cilindro tiene como superficie lateral un enrejado.



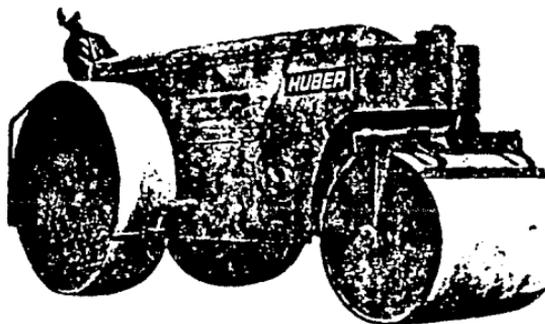
RODILLO DE REJILLA LASTRADO

## b) Por presión

El proceso se produce por la acción del peso propio de la máquina, en la actualidad la mayoría son autopropulsados.

## - Rodillos lisos

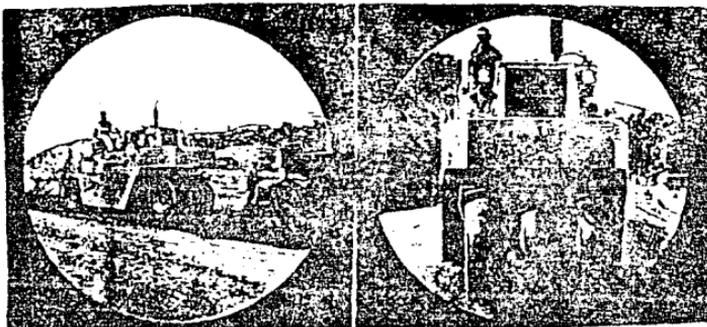
son remolcados y autopropulsados, su peso varía de 14 a 20 ton, debido a que pueden lastrarse. Se usa en materiales que no requieren de concentración elevada de presión, disgregación de grumos o amasado; se usa también para la terminación de carpetas y bases. El efecto de la compactación es de arriba hacia abajo, disminuyendo el efecto con el espesor, usualmente de 10 a 20 cm.



APLANADORA DE 3 RODILLOS LISOS

## - Rodillos neumáticos

Aplicación por presión pero también de amasado, acabado rugoso lo que logra una buena liga con la otra capa. Usado principalmente en suelos arenosos con finos plásticos.



## RODILLOS NEUMATICOS

## c) Por impacto

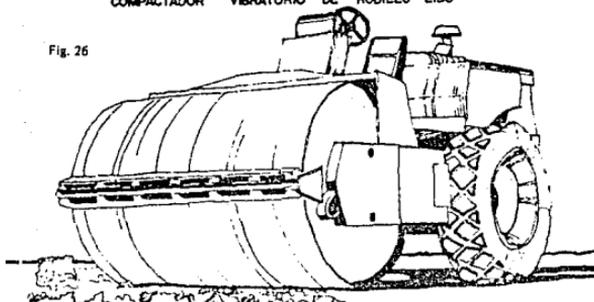
Esto tiene el principio de los compresores por percusión; que consiste en la caída de una masa sobre la superficie a compactar empleado en zonas de difícil acceso; existiendo: pisones ligeros, pesados, vibropisones, y de caída libre.

## d) Por vibración

Se usa principalmente equipo de masas desbalanceadas de tipo hidráulico que proporciona vibraciones con rangos de frecuencia desde 1500 a 5000 vibraciones/min.. su ventaja principal es la de trabajar con capas de gran espesor, aumentando rendimiento y reduciendo costo de operación. Los espesores que se trabajan van desde .60 hasta 1.20m. Existen: de una sola rueda, triciclo, tandem, trieje y doble.

COMPACTADOR VIBRATORIO DE RODILLO LISO

Fig. 26



RODILLO VIBRATORIO

e) Mixtos

Sería la combinación de los anteriores.

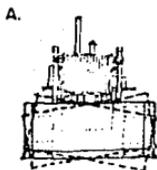
## IV 3.2 MOVIMIENTO DE TIERRAS

Para el movimiento de tierras se requiere tener una gran variedad de equipo, como el que a continuación se menciona:

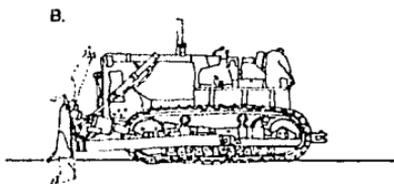
- Bulldozer o tractor  
Máquina para cortes y empuje de material en tramos cortos.
- Cargador frontal o Traxcavo  
Sirve para cargar los materiales, hacer pequeños cortes y despalmes.

## CAPITULO IV

## DESCRIPCION DEL PROCESO CONSTRUCTIVO



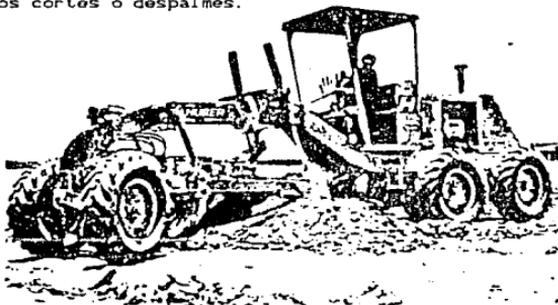
TILTDOZER



ACCIONAMIENTO VERTICAL DE LA CUCHILLA

### - Motoconformadora

Sirve para hacer nivelaciones de las terracerías y también pequeños cortes o despalmes.



Motoconformadora 140 HP

### - Motoescrapa o trailla

Sirve para excavación, carga, transporte y descarga de materiales de consistencia media.

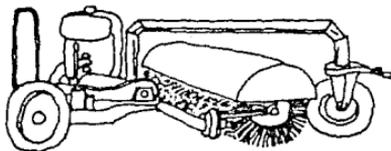
### - Camiones de volteo

Sirve para el transporte de los materiales, dentro de estos podemos considerar, para grandes volúmenes los camiones fuera de carretera.

## IV 3.3 PAVIMENTACION

- Barredoras

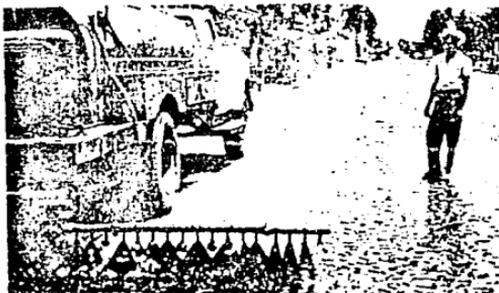
Son escobas giratorias montadas sobre un eje y con presión regulable a voluntad, que sirven para limpiar las bases de toda pavimentación. El movimiento de la escoba se efectúa por medio de una cadena de transmisión o por un motor.



**BARREDORA**

- Petrolizadoras

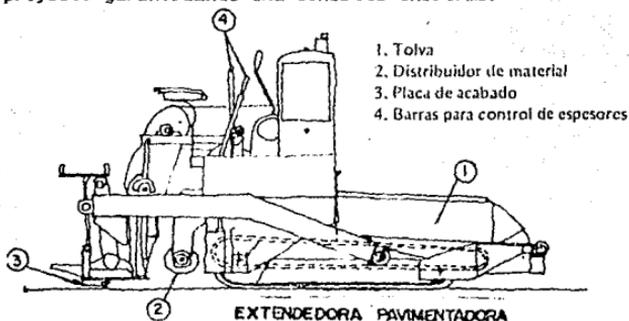
Son tanques montados en un chasis, con tracción propia o remolcados que se utilizan para la aplicación de riegos de asfaltos rebajados o de emulsiones asfálticas, sea para mezclar en el camino, riegos de impregnación, de liga o de carpetas asfálticas por el sistema de riegos.



Petrolizadora con barra para riegos

- Pavimentadoras

Sirven para el tendido de las mezclas las cuales distribuyen uniformemente el pavimento y dejan el espesor de proyecto garantizando una densidad uniforme.

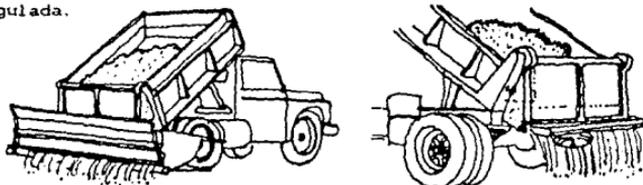


- Camiones de volteo

Sirven para el transporte del concreto asfáltico, también para depositarlo en las tolvas de la pavimentadora.

- Esparcidores

Para la pavimentación por riegos se usan los esparcidores o distribuidores automáticos que tienden con rapidez y uniformidad los materiales; son en realidad camiones de volteo que al elevar su caja y abrir su compuerta descargan el material sobre una tolva que mediante un rodillo giratorio deja caer el material en forma uniforme y regulada.



ESPARCIDORES

## IV.4 DESCRIPCION DEL PROCESO CONSTRUCTIVO

La primera actividad constructiva a realizar son los cortes y terraplenes según sea el caso del proyecto, para esto es necesario tener una guía de trabajo para lo cual se deben de colocar estacas a cada lado de la línea del centro, puntos en que el talud lateral del corte o terraplen intersectan la superficie del terreno natural. Estos puntos los fijan las brigadas de topografía, definiendo los límites de trabajo. Con estos puntos fijados se proceden a efectuar los trabajos de movimiento de tierras.

## IV.4.1 BASES Y SUB-BASES

Una vez fijados los bancos de préstamo se procederá a realizar el transporte del material para lo cual se utilizarán los cargadores frontales que cargarán a los camiones de volteo para su transporte. La descarga, se deberá hacer controlando los volúmenes depositados por estación de 20 m, en una orilla del camino, en las curvas, en la parte exterior y acamellonarse a la brevedad posible.

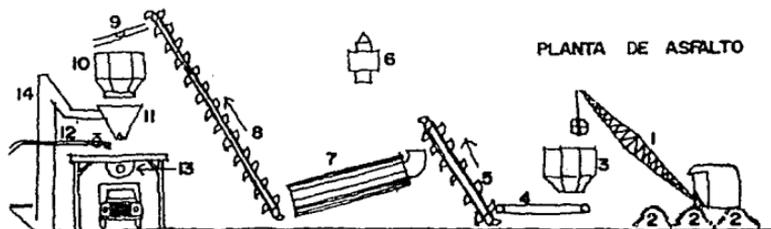
Los procedimientos constructivos en México, para bases y sub-bases, es indistinto; y se dividen en las etapas siguientes: elaboración, transportación, tendido y afinamiento.

Para la elaboración de las capas hay 2 métodos: con la motoconformadora, la más usual en México, cuando se emplea ésta para el mezclado se extenderá el material y a continuación se procederá a incorporarle agua por medio de riegos mezclados sucesivos, hasta alcanzar la humedad y homogeneidad fijada. Y también la planta mezcladora de tipo

volumétrico que consiste en proporcionar, por medio de bombas el agua necesaria reuniéndose en una tolva, con los materiales seleccionados, se mezclan y homogenizan por flechas provistas de paletas lo cual hace una mejor mezcla; proporcionando así un volumen exacto, mejor control, menor tiempo para compactar, etc. Ya al estar homogenizada, se descarga por gravedad a los camiones de volteo para el transporte al lugar requerido.

1. CARGA
2. AGREGADOS
3. UNIDAD GRADUADORA
4. TRANSPORTADOR
5. ELEVADOR FRIO
6. COLECTOR DE FINOS
7. SECADOR

8. ELEVADOR CALIENTE
9. CRIBA
10. TOLVA
11. UNIDAD PESADORA PARA AGREGADOS
12. MEDIDOR DE ASFALTO
13. AMASADORA
14. ALIMENTADOR DE FINOS



Una vez acamellonado el material, se procede al tendido y afinamiento de capas según lo requerido; al material tendido se le incorporará agua por medio de una pipa que riegue con una barra, para dar humedad si así lo requiere, para la compactación. El tendido y afinamiento se puede hacer de 2 formas: con la moloconformadora o con una extendidora, siendo la conformadora la forma más barata pero la menos recomendable; formando así las bases y las sub-bases.

Las tolerancias específicas generales según la SAHOP son: para la pendiente transversal son igual para las 2 y es

de  $\pm \frac{1}{2}\%$  y de la profundidad de las depresiones es de 2cm para la sub-base y de 1.5 para la base.

La extendidora (finisher), equipo con control electrónico, que dá espesores hasta de 25cm, siendo este un procedimiento caro y por ende poco usual.

Una vez concluida la etapa anterior se inicia la compactación, procediendo a dar una pasada a todo lo ancho del revestimiento o de la sub-base del compactador elegido, realizandose de las orillas al centro, borrando la huella de la anterior pasada, haciendose a velocidad baja para ir apretando el material lentamente para que no se desplace éste por estar flojo; las siguientes pasadas se hacen igual pero traslapando a la mitad con mayor velocidad y se verifica con el operador si se llegó a la compactación adecuada, luego se hacen las pruebas para la verificación. Al terminar es recomendable checar los niveles y el bombeo para hacer correcciones.

#### IV.4.2 CARPETAS

Lo primero que se tiene que hacer es barrer la base, para limpiarla de polvo e impurezas; luego dar los riegos que se necesiten, como serían:

- El riego de impregnación o de penetración sirve para estabilizar la superficie de la base, impermeabilizar y protegerla del tránsito durante su proceso constructivo, proporcionar superficie que sea a fin con la carpeta.

Este riego consiste en lo siguiente: estando la base preparada se le da el riego a razón de  $1.5 \text{ lt/m}^2$  de fraguado medio, esperando 2 días para que penetre y seque. El número del fraguado medio (FMD) se dá en base a la textura de la base.

Se dan a continuación las texturas siguientes:

## CAPITULO IV

## DESCRIPCION DEL PROCESO CONSTRUCTIVO

| FM | textura | temperatura(grados centígrados) |
|----|---------|---------------------------------|
| 0  | cerrada | 20 - 40                         |
| 1  | media   | 30 - 60                         |
| 2  | abierta | 70 - 85                         |

Una vez realizado esto, se esta en la posibilidad de recibir la carpeta respectiva.

## IV.5 DESCRIPCION DE LOS DIFERENTES TIPOS DE CARPETAS

## a) CARPETAS DE RIEGO

Se hace el procedimiento siguiente:

- Se barre la base impregnada
- Se da un riego de material asfáltico (FR-3 1.5lt/m<sup>2</sup>)
- Se cubrirá con una capa de material pétreo
- Se rastrea para que no halla ondulaciones
- Se compacta
- Y se repite 2 ó 3 veces dependiendo si es de 2 ó 3 riegos, disminuyendo el material pétreo en relación de 2 a 1 entre capas subsiguientes.

## b) CARPETAS DE MEZCLAS EN EL LUGAR

Estas son elaboradas en el lugar, sobre el camino mediante el mezclado de los materiales pétreos y un producto asfáltico rebajado, realizándolo por motoconformadora o mezcladores ambulantes; luego tendiéndolos y compactándolos.

Cuando la base está lista, con la petrolizadora se le da un riego de liga a razón de 0.5 lt/m<sup>2</sup> de asfalto de fraguado rápido (FR-3). Se amontona el material pétreo y se extiende con una capa de espesor uniforme dándose riegos de producto asfáltico (3-4 lt/m<sup>2</sup>) y se tiende la mezcla sobre el

## CAPITULO IV

## DESCRIPCION DEL PROCESO CONSTRUCTIVO

riego de liga con la motoconformadora, se afina y se da una compactación ligera y se deja que alcance la mayor parte de fraguado y se compacta de nuevo.

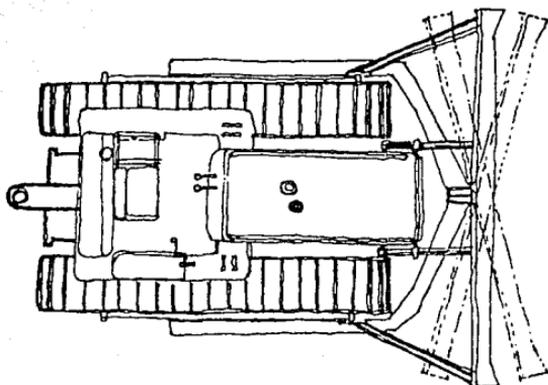
Con las mezcladoras ambulantes se mezcla el material pétreo y asfáltico, llenando los camiones para alimentar a la extendedora, previo riego de liga ya especificado; y se procede al afinado y compactado.

### c) CARPETAS ELABORADAS EN PLANTA

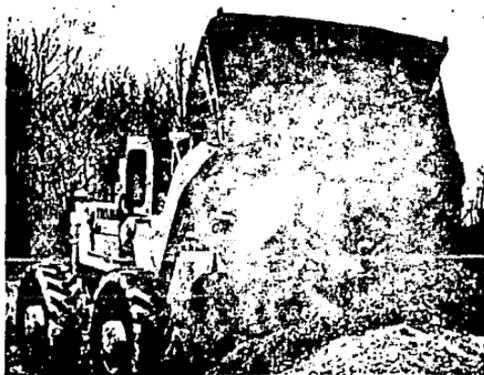
La mezcla se realiza en plantas elaborando el concreto asfáltico, este tipo de carpeta es para tránsito intenso y pesado, se emplean materiales pétreos triturados, como producto asfáltico se emplea el cemento asfáltico (CA) del número 3 y 6. Se mezcla en plantas de tipo discontinuo (por producción) o planta de bachas. Una vez ya escogido el material se le adiciona el CA para dosificar todos los materiales. Ya mezclados y homogenizados se descargan en camiones que la transportan al lugar, protegiéndolo con una lona para que no pierda temperatura y no se contamine.

Sobre la base preparada se le da un riego de liga a razón de  $0.5 - 0.8 \text{ lt/m}^2$  de FR-3 ó 4 y se procede a pavimentar con la extendedora o pavimentadora. Después del tendido, y a una temperatura entre  $80 - 100$  grados centígrados, deberá compactarse primero a  $\frac{1}{2}$  rueda con rodillo liso y luego se compactará usando rodillos neumáticos y luego el liso para borrar las huellas, teniéndose así el pavimento.

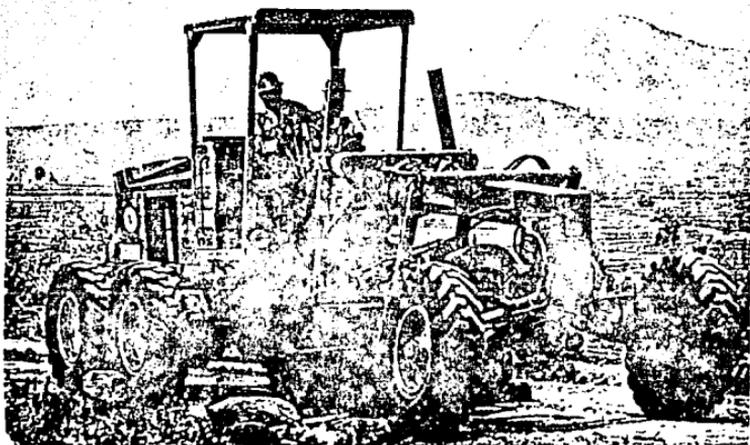
A continuación se muestran aspectos generales de la pavimentación, en su debido orden.



ANGLED OZER



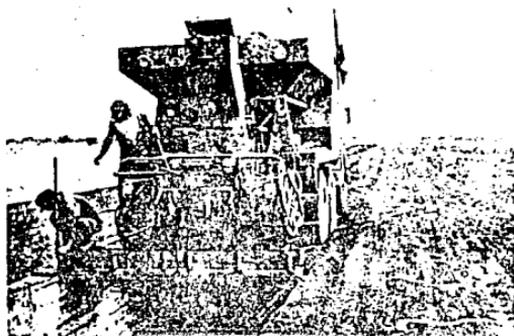
TRAXCAVO



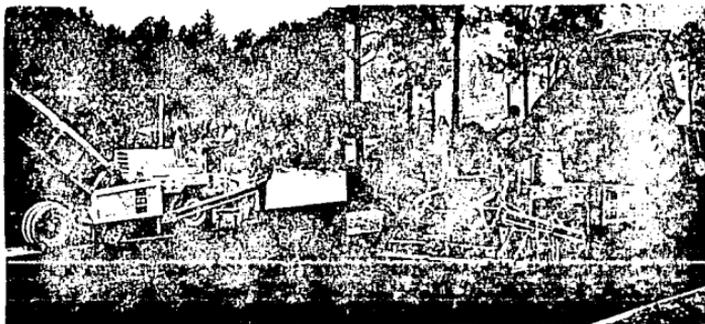
NIVELACION Y AFINAMIENTO DE UNA BASE



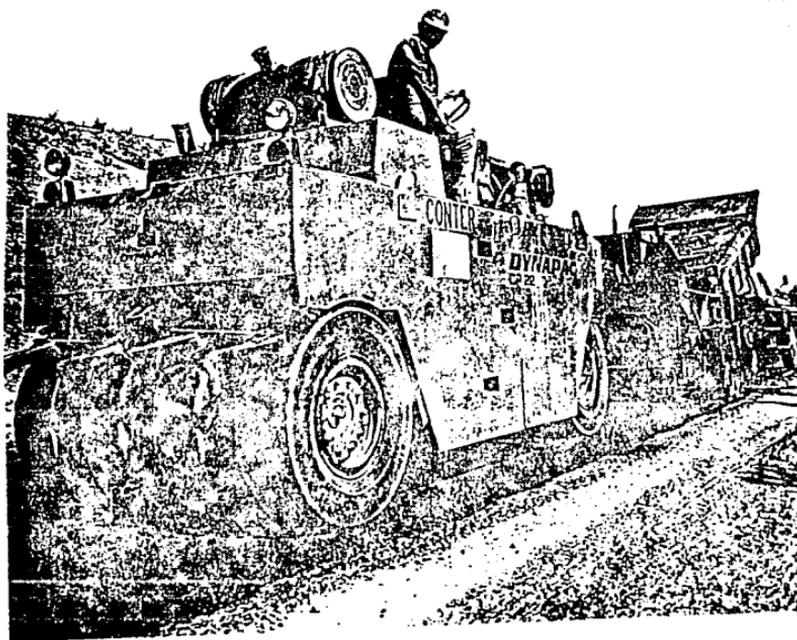
C O M P A C T A C I O N



R I E G O S



T E N D I D O D E L A C A R P E T A



TENDIDO Y COMPACTADO DE LA CARPETA ASFALTICA

## C O N C L U S I O N E S

La infraestructura de transporte terrestre es uno de los factores dinámicos en el proceso del desarrollo de la economía de un país, ya que el intercambio de bienes productos y servicios se realiza por medio del transporte. En nuestro país la escasez de ríos navegables y la incipiente red ferroviaria hace del transporte terrestre por carretera un medio primordial para nuestro desarrollo. Por lo tanto, la importancia de las carreteras es preponderante; y una de las partes integrantes del camino es el pavimento.

La importancia en las capas de la estructura del pavimento se observa en el análisis de los esfuerzos que provocan los vehículos ya que a menor profundidad mayor esfuerzo, y esta es la causa de que las capas superiores son de mayor calidad y con mejor tratamiento mecánico para que resistan, influyendo en la vida del pavimento.

Las pruebas tratan de representar esfuerzos y condiciones equivalentes que producen las cargas del tránsito, para adoptar criterios de diseño adecuados que se reflejen en la vida del pavimento; además juegan un papel muy importante para el diseño ya que se derivan los resultados obtenidos para la estructuración, de ahí la importancia de realizarlas correctamente.

Es importante mencionar que los métodos que se trataron son semiempíricos y sus resultados se deben de tomar como un índice de proyecto.

El método VRS es uno de los métodos más utilizados actualmente para el diseño de carreteras y se ha observado que es bueno combinarlo con el método de McCleod.

## C O N C L U S I O N E S

El método VRS fue diseñado en el Departamento de Carreteras del estado de California, E.U. y por lo tanto es adecuado para dicho estado pero para otros lugares no lo es del todo, debido a la variabilidad del tránsito tanto en cantidad como en tipos de vehículos.

El método del Instituto de Ingeniería de la UNAM es el más adecuado para México, ya que está basado en los resultados obtenidos por pruebas en 2 tramos de carreteras y en la pista circular construida por el Instituto.

Estos 2 métodos para su aplicación tienen la ventaja de usar la prueba VRS para su estructuración y estas pruebas son muy utilizadas en México, y comparado con el método de Hveem que necesita más pruebas que son menos comunes haciéndolo más caro. Al igual que el de M<sup>c</sup>Cleod que necesita de otra prueba diferente a la VRS.

Resulta difícil encontrar métodos con adecuados fundamentos teóricos para el diseño estructural del pavimento ya que con las pruebas no se representan los esfuerzos reales producidos por el tránsito.

Entre la información más valiosa utilizada por el Instituto de Ingeniería se encuentran una serie de factores que se utilizan en una forma más racional, extraídas de una experimentación de 20 años aproximadamente, tales como:

- a) Datos de comportamiento a escala natural (tramos de carretera y en la pista circular del Instituto).
- b) Determinación de: un criterio de falla y de un VRS crítico.
- c) Utilización de una carga estandar de tránsito.

Los resultados obtenidos son muy parecidos aunque no

## C O N C L U S I O N E S

iguales, la única diferencia marcada es en la base (6.5 cm en del Instituto y 10.5 cm en el VRS) y ligero en la carpeta (8.75 cm en el del Instituto y 6.8 cm en el VRS) esto es a consecuencia de que la carpeta es más resistente y por lo tanto influye en el espesor de la capa inferior, ya que dicha carpeta absorbe mayor esfuerzo.

No existe un espesor único de diseño, existirán tantos espesores como métodos se empleen, también hay que considerar la experiencia del Ingeniero que diseña el pavimento.

Se puede decir que cualquier método de diseño es adecuado siempre y cuando se realice en forma correcta.

Yo considero que el método del Instituto es mejor, ya que es de mayor facilidad en su aplicación y es adecuado para México, además toma un valor VRS de confianza disminuyéndolo como se ve en el ejemplo, dando así mayores espesores para las capas.

La compactación juega un papel de suma importancia en la resistencia del pavimento, debido a que el tratamiento mecánico mejora las características mecánicas del suelo que influye directamente sobre la vida del pavimento, debiendo ser bien realizada y con criterios adecuados.

Para el proceso constructivo lo principal es ser ordenado para llevar el control necesario y la coordinación de la maquinaria, para evitar tiempos ociosos, que son perdidos.

Es muy importante seguir las especificaciones para la construcción de los pavimentos.

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

- Rico-del Castillo.  
Ingeniería de los suelos en las vías terrestres Tomos I II.  
Editorial limusa, 3a edición, México 1982.
  
- Moncayo V., Jesús.  
Manual de pavimentos.  
Editorial CECSA, 2a edición, México 1980.
  
- Larson, Thomas.  
Concretos de cemento portland y asfálticos.  
Editorial CECSA, 3a edición, México 1978.
  
- SAHOP.  
Especificaciones generales de construcción.  
Tomos 3, 5, 8, 9. México, D.F.
  
- Juarez Badillo-Rico Rodríguez.  
Mécanica de suelos Tomo I II.  
Editorial Limusa, 2a edición, México 1985.
  
- División de Educación Continua: UNAM.  
Apuntes de compactación.  
UNAM, México 1975.

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

- Jeuffray, George

Proyecto y construcción de carreteras.

Editorial Técnicas, 2a edición, México 1981.

- Villalaz, Crespo

Vías terrestres.

Editorial Limusa, 3a edición, México 1986.

- Wallace, Martin

Asphalt pavement engineering.

Editorial McGraw-Hill, 2a edición.

- SAHOP, Subsecretaria de Obras Publicas

Costos y procedimientos de construcción en las vías terrestres

2a edición, México 1985.

- Division de Educación Continua: UNAM

Proyecto y construcción de pavimentos.

UNAM, México 1978.