



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL



ESCUELA SUPERIOR DE  
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

APUNTES DE  
PAVIMENTOS Y TERRACERIAS

G. JOSÉ SANTOS ARRIAGA SOTO

MÉXICO D.F.; OCTUBRE 2010



---

## OBJETIVO GENERAL

---

Observando el incremento del tránsito que se presenta actualmente, en cuanto a número de ejes que circulan por las carreteras y considerando un incremento en la cantidad y peso de las aeronaves en un futuro próximo, además de que con frecuencia el Ingeniero se encuentra con que los materiales que requiere para construir no se encuentran en la zona de trabajo o cercanos a ella; es por esto que se requiere de especialistas en la materia, preparados para solucionar estos problemas, que se encontrara muy frecuentemente en la construcción de pavimentos de carreteras y aeropuertos, así como de ferrocarriles.

Los cambios drásticos que nos impone la vida moderna, requieren de personal capacitado y especializado, que conozca las herramientas adecuadas y aproveche la tecnología de punta para resolver los problemas que se presentan con gran frecuencia en las vías de comunicación.

Es por esto que se presenta la necesidad de preparar Ingenieros que identifiquen el problema y lo resuelvan de manera económica, con productos adecuados y en periodos de tiempo cortos. Para que las vías de comunicación no detengan el desarrollo de México, ante el reto que tiene de estar intercambiando ideas y mercancías con el mundo.



## ÍNDICE

### **INTRODUCCIÓN**

#### **UNIDAD I**

##### **CONCEPTOS GENERALES**

- 1.1-Definición, funciones y normas de pavimentos flexibles
- 1.2- Definición, funciones y normas de los pavimentos rígidos
- 1.3- Definición funciones y normas de los componentes de las Terracerías de pavimentos flexibles, rígidos y ferrocarriles

#### **UNIDAD 2**

##### **ESTUDIOS GEOTÉCNICOS DE LA ZONA DEL EJE DEL CAMINO**

- 2.1- Clasificación de los materiales por el S.U.C.S.
- 2.2- Clasificación de los materiales por el método de la SCT
- 2.3- Análisis de suelos en la zona del eje del camino
- 2.4- Estudios preliminares y definitivos
- 2.5- Exploración a lo largo del camino
- 2.6- Muestreo en bancos de préstamo de materiales

#### **UNIDAD 3**

##### **MEJORAMIENTO DE SUELOS**

- 3.1-Estabilizacion
- 3.2- En forma mecánica o química
- 3.3-Empleando cemento portland mezcla flexible (suelo modificado)
- 3.4-Empleando cal
- 3.5-Empleando Geotextiles y otros productos

#### **UNIDAD 4**

##### **PRODUCTOS ASFALTICOS**

- 4.1-Tipos de productos asfálticos
- 4.2-Cementos asfálticos y su regionalización geográfica
- 4.3-Emulsiones asfálticas y rebajados
- 4.4-Asfaltos modificados
- 4.5-Tipos de carpetas
- 4.6-Principales fallas y causas en pavimentos



## **UNIDAD 5**

### **FACTORES PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS**

- 5.1-Características de los vehículos carreteros y aeronáuticos
- 5.2-Teoría de Boussinesq y Burmister
- 5.3-Esfuerzos en pavimentos flexibles
- 5.4-Factores de proyecto de pavimentos flexibles y rígidos
- 5.5-Capacidad de carga
- 5.6-Cargas equivalentes

## **UNIDAD 6**

### **MÉTODOS DE DISEÑOS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA CARRETERAS Y AEROPISTAS**

- 6.1-Método del Instituto de Ingeniería para Carreteras
- 6.2-Diseño por el instituto de Asfalto para carreteras
- 6.3-Método de la marina E.U.A. (para aeropista)
- 6.4-Diseño de la AASHTO (para aeropistas)

## **UNIDAD 7**

### **MÉTODOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA CARRETERAS Y AEROPISTAS**

- 7.1-Tipos de pavimentos rígidos y sus características, teoría de Westergard
- 7.2-Características de los materiales para losas de concreto
- 7.3-Proceso constructivo de un pavimento rígido
- 7.4-Método de la P.C.A por fatiga para carreteras y calles
- 7.5-Método de la P.C.A para aeropistas

## **ANEXOS**

Bibliografía  
Problemario  
Cuestionario.





---

## DEFINICIÓN, FUNCIONES Y NORMATIVIDAD DE LOS PAVIMENTOS

---

**PAVIMENTOS:** Es el conjunto de capas de material seleccionado que recibe en forma directa las cargas provocadas por el tránsito y las transmiten a los estratos inferiores de manera disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, de manera cómoda, eficiente y segura.

**PAVIMENTO FLEXIBLE:** Principalmente compuesto de una **carpeta asfáltica** (mezcla de material pétreo y algún producto asfáltico) la cual se encuentra en contacto directo con los vehículos y con la intemperie: **la base** que es un material seleccionado que se coloca debajo de la carpeta y que por sus características de resistencia que debe tener comúnmente se le proporciona un tratamiento previo (disgregado, triturado, cuarteo, mezcla, estabilización) es una de las capas que absorbe gran parte de los esfuerzos provocados por el tránsito, en algunas ocasiones y con la finalidad de reducir costos se coloca una capa de **sub.-base**, el cual también es un material seleccionado y regularmente con un tratamiento previo, pero con características de calidad menores que una base y por consecuencia de menor precio.

**TERRACERÍA:** Conjunto de cortes y terraplenes que le dan forma a la vialidad, son el soporte del pavimento y para su construcción se emplean los materiales de bancos longitudinales (producto de los cortes) y bancos de préstamo laterales ya que por el volumen que se requiere, resultaría muy costoso transportarlos de lugares más alejados, requieren de un tratamiento mínimo ya que por el lugar donde se ubican en la estructura del camino, los esfuerzos que llegan hasta ellas deben ser mínimos. Es la cimentación del pavimento y nos proporciona la altura adecuada.

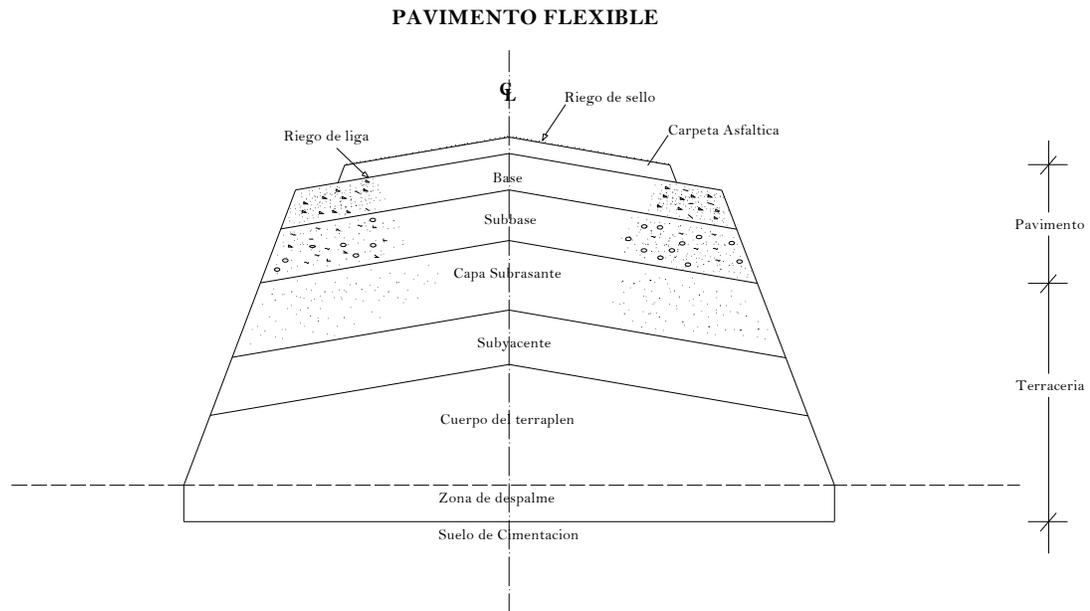
**CARRETERA:** Conjunto de instalaciones y construcciones que permiten el fácil cómodo y seguro transitar de los vehículos automotores.

**AEROPUERTO:** Elemento de liga entre las comunicaciones aéreas y terrestres, que debe brindar seguridad a las aeronaves que aterricen o despeguen en el mismo.

Para el proyecto estructural de un pavimento se deberán tomar en cuenta algunas cuestiones que pueden ser las que se indiquen a continuación.

Ya que los esfuerzos decrecen con la profundidad, se recomienda en los pavimentos flexibles colocar los materiales de mayor capacidad de carga en las capas superiores y los que presenten una menor resistencia ubicarlos a mayor profundidad, siendo estos últimos los más comunes en la naturaleza y por consecuencia los más económicos.

La división en capas que se hace de un pavimento, obedece precisamente a una cuestión de economía, siendo la más costosa y de mejor calidad el siguiente orden: la carpeta, base, sub base, sub rasante, subyacente (en caso necesario) y el cuerpo deterraplén.



### ***Capas de materiales que forman un pavimento flexible***

Se analizarán las características que deben presentar los materiales para ser empleados en un pavimento, empezando por las capas inferiores que conforman el camino, para después continuar con los materiales que se emplean en un pavimento, basándonos en la normatividad que marca el organismo rector de las obras viales en México la cual es la S.C.T. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes)

### **CARACTERÍSTICAS**

***Cuerpo del terraplén:*** es una parte del camino que se utiliza para dar la altura adecuada que nos marca el proyecto geométrico y dentro de este se alojan las obras de drenaje principalmente, las alcantarillas y sub-drenes.

Los materiales para terraplén son suelos y fragmentos de rocas productos de los cortes o bancos de préstamo para darle una altura hasta el nivel de desplante de la subrasante que nos marque el proyecto, como es la capa que se encuentra a mayor profundidad para que el proyecto resulte económico el material que se emplea en el mismo debe obtenerse de bancos cercanos al camino y de los cortes, además sus características de resistencia no resultan muy significativas ya que los esfuerzos que llegan hasta esa profundidad son mínimos, por consiguiente debe ser el material más económico.

A menos que exista un estudio previamente aprobado por la secretaria que justifique el empleo de materiales con características distintas se obligará cumplir con lo que marca la tabla. En ningún caso se utilizarán materiales altamente orgánicos como la turba (Pt).



### REQUISITOS DE MATERIALES PARA TERRAPLÉN.

<i>Característica</i>	<i>Valor</i>
Limite líquido,%, máximo	50
Valor soporte de California (CBR), %, mínimo.	5
Expansión , %, máxima	5
Grado de compactación*, %	90± 2

\*El P.V.S.M. de laboratorio será mediante la prueba AASHTO estándar. En fragmentos de rocas se colocara en capas del espesor mínimo que permita el tamaño máximo y se bandeara previa aplicación de un riego de agua a razón de 150lts/m<sup>3</sup> dando como mínimo tres pasadas con un tractor de 36.7 toneladas con orugas

#### **Procedimiento constructivo de cuerpo de terraplén:**

Los materiales utilizados en el cuerpo del terraplén pueden ser compactables (suelos) y no compactables (fragmentos de roca), los primeros son aquellos que después de disgregado tienen un diámetro de 3” (7.5 cm.) como máximo.

Cuando los materiales son compactables se les debe aplicar dicho proceso hasta alcanzar un grado de compactación mínimo del 90% como marcan las normas

Si son no compactables se forma una capa con un espesor casi igual al tamaño del fragmento pero no menor de 15cm, se pasa el tractor de oruga en forma de zig- zag. (**Bandeado**) unas tres veces por el mismo lugar, dicho equipo deberá pesar aproximadamente 36.5 toneladas.

Si es preciso realizar rellenos en barrancas angostas y profundas se permite colocar el material a volteo hasta una altura en el cual pueda operar el equipo adecuado.

Se deberá tener la cuña de afinamiento para que el hombro del terraplén se compacte de manera adecuada y sin peligro para el operador y el equipo de compactación.

**Subyacente:** sirve como refuerzo de la subrasante, los materiales que en ella se ocupen pueden ser suelos y fragmentos de roca, que cumplan con los requisitos de calidad que marca la tabla de capa subyacente. Su espesor dependerá del número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas que vayan a circular por ese pavimento durante su vida útil y se tendrán los siguientes casos:

- Cuando la intensidad del tránsito sea menor de 10 000 ejes equivalentes no se requiere subyacente.
- Cuando la intensidad del tránsito sea de 10 000 a 1.0 millón de ejes equivalentes tendrá un espesor mínimo de 30.0 cm.
- Cuando la intensidad del tránsito sea de 1.0 millón a 10.0 millones de ejes equivalentes, tendrá un espesor de 70.0 cm.
- Cuando la intensidad del tránsito sea mayor de 10 millones de ejes equivalentes, la capa será motivo de diseño especial.



*Construcción de un terraplén*



*Efectuando un corte*

**REQUISITOS DE CALIDAD PARA SUBYACENTE.**

<i>Característica</i>	<i>Valor</i>
Tamaño máximo y granulometría	Que sea compactable
Limite líquido, %, máximo	50
Valor soporte de California (CBR), %, mínimo.	10
Expansión , %, máxima	3
Grado de compactación*, %	95 ± 2

\*El P.V.S.M. de laboratorio será mediante la prueba AASHTO estándar.

Cuando el material de esta capa sea producto de los cortes, se podrá transportar utilizando tractores o motoescrepas.

Si se obtiene de bancos se deberá tener cuidado en su transporte y almacenamiento.

Por cada 800 metros cúbicos o fracción de un mismo tipo, extraído de corte o banco se realizaran las pruebas necesarias para asegurar que cumplen con la norma y por cada 300 metros cúbicos deberán cumplir con el límite líquido adecuado.

La cal o el cemento Portland que se utilicen para modificación o estabilización, cumplirá con los requisitos de calidad que marcan las normas.

**Sub rasante:** Es la última capa de las terracerías y del proyecto geométrico de un camino; la función de la subrasante es evitar que el terraplén contamine el pavimento y que este sea absorbido por las capas inferiores, se considera **la cimentación** del camino y cuando en ella tenemos material de buena calidad el espesor de la capas superiores disminuye teniendo como consecuencia una descenso en el costo de la obra ya que los materiales del pavimento son los más costosos. Debe transmitir los esfuerzos que le mandan las capas superiores de manera disipada hacia las capas inferiores y al terreno natural para evitar deformaciones prematuras en estos últimos.



**REQUISITOS DE CALIDAD PARA SUBRASANTE**

<i>Característica</i>	<i>Valor</i>
Tamaño máximo mm.	76
Limite líquido,%, máximo	40
Índice plástico, %; máximo	12
Valor Soporte California (CBR), %, mínimo.	20
Expansión , %, máxima	2
Grado de compactación*, %, mínimo	100±2

*\*El P.V.S.M. de laboratorio será mediante la prueba AASHTO estándar.*

Sus espesores mínimos estarán de acuerdo con el número de **ejes equivalentes de 8.2 toneladas ( $\Sigma L$ )** que vayan a circular por ese camino durante su vida útil. Lo que nos marcan las normas es lo siguiente.

- Cuando se tenga un millón de ejes equivalentes de 8.2 toneladas o menos su espesor mínimo será de 20cm.
- Cuando se tengan de un millón a diez millones será de 30cm de espesor mínimo.
- Cuando se tengan más de diez millones de ejes equivalentes de 8.2 toneladas se tendrá un diseño especial.

Los materiales empleados son suelos naturales, seleccionados o cribados y dicha capa puede colocarse encima de la cama de un corte, de la capa subyacente o del cuerpo de un terraplén y sirve como desplante de un pavimento.

El material se almacenara de manera adecuada, procurando despejar de vegetación y partículas extrañas la superficie, nivelar y compactar de tal manera que permita un drenaje adecuado.

Durante el proceso de producción el contratista por cada 200 m<sup>3</sup> se asegurara que cumplan con el límite líquido y por cada 500 m<sup>3</sup> se buscara efectuar las pruebas correspondientes para verificar que cumpla con las normas.

El banco seleccionado para esta capa deberá tener una cantidad suficiente de material para poder cubrir una longitud considerable del camino y no estar cambiando constantemente el diseño estructural del pavimento ya que por ser esta capa la cimentación del pavimento, algunos métodos efectúan ensayos sobre de ella para diseñar el espesor de las capas superiores (pavimento).

**Procedimiento constructivo de la subrasante:**

Dicha capa es parte del proyecto geométrico y nos marca la altura de las terracerías, su espesor es variable siendo muchas de las veces mayor que el necesario en la estructura. La subrasante económica tomara en cuenta lo siguiente: las especificaciones de la pendiente longitudinal, tener una altura suficiente para dar cabida a las obras de drenaje y provocar los acarreos más económicos posibles.

Los materiales empleados son suelos naturales, seleccionados o cribados, dicha capa se coloca encima de los cortes, de la capa subyacente o del cuerpo de un terraplén.

Normalmente los materiales de subrasante se pueden encontrar en lugares cercanos al camino para que su acarreo resulte económico, cuando no cumplan con la normatividad se deberán mejorar (estabilizar) por cualquier método adecuado. En algunas ocasiones el producto de los cortes es el adecuado para la construcción de dicha capa, por eso es tan importante el proyecto de la curva masa; en este caso se debe tener cuidado con los salientes de las camas del corte para evitar malas compactaciones; para esto se recomienda escarificar hasta una profundidad de 15cm.y se compacta dándole el bombeo o sobre elevación adecuado.

Si la subrasante se desplanta directamente sobre el terreno de cimentación y su espesor es menor al señalado anteriormente o bien el material de cimentación no cumpla con las características adecuadas, se excava una caja hasta lo profundidad necesaria para completar el espesor mínimo.

Una vez tendida y compactada el contratista realizara las pruebas necesarias que aseguren el grado de compactación, entregando este reporte a la secretaria la cual los verificara. El número de calas o sondeos se obtiene con la siguiente expresión:

$$C = L/50$$

C=Numero de calas

L=Longitud del tramo



Riego para compactación



Equipo para control de la compactación



## CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES PARA REVESTIMIENTOS

**Revestimiento:** son materiales granulares seleccionados que se colocan sobre la terracería de los caminos, patios de maniobras y otras áreas para poder circular en ese camino en cualquier período del año y con esto evitar que estas sea deformadas o levantadas por el tránsito, se emplea en caminos con bajos volúmenes de tráfico en cuanto a peso y número de vehículos y en algunas pistas para avionetas. El material debe presentar cierta dureza para poseer una resistencia adecuada, mezclado con un material cohesivo que le provoque cierta cementación y que se tenga un enlace apropiado o bien se le mezcla con algún producto para proporcionarle esta característica. Normalmente se les aplica un proceso previo, que puede ser un tratamiento mecánico de disgregado, cribado, triturados y parcialmente cribados, la mezcla de dos o más materiales o bien se les aplica algún procedimiento químico que puede modificarlos con carpetas recuperadas, con cemento hidráulico, modificados con cal o con productos químicos.

### **Materiales que no requieren tratamiento mecánico.**

Son las arenas y gravas, que al extraerlas en el camino quedan sueltas y que no contienen más del 5% de partículas mayores de 75mm (3”), las que serán eliminadas manualmente.

### **Materiales que requieren ser disgregados**

Son los limos y arenas fuertemente cementados, caliches y conglomerados, así como rocas muy alteradas, que al extraerlos resultan con porciones que pueden disgregarse mediante el uso de maquinaria; una vez disgregados, no contendrán más de 5% de partículas mayores de 75mm (3”), las que serán eliminadas manualmente.

### **Materiales que requieren ser cribados.**

Mezclas de grava arena y limos que al extraerlos quedan sueltos y contienen del 5 al 25 % de partículas mayores de 75 mm. (3”) y requieren tamizado por una malla de 3” (75mm).

Se tienen los casos de materiales que requieren ser triturados parcialmente por no cumplir la granulometría y el otro caso es la mezcla de suelos, la cual no es muy recomendable por su costo.

Se pueden emplear materiales producto de la recuperación de carpetas asfálticas, materiales modificados con cementos hidráulicos, con cal o con productos químicos.

El material empleado deberá cumplir con los requisitos de calidad como es la granulometría de acuerdo con la siguiente tabla y en ningún caso se considera aceptable la adición de arcillas para darle cohesión ya que esto inhibe su permeabilidad característica esencial de un adecuado revestimiento.



**REQUISITOS DE GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL PARA REVESTIMIENTOS**

Malla		Porcentaje que pasa
Abertura Mm.	Designación	
75	3"	100
50	2"	85-100
37,5	1½"	75-100
25	1"	66-100
19	¾"	61-100
9.5	¾"	50-100
4.75	Nº 4	40-80
2.0	Nº20	30-60
0.85	Nº40	20-44
0.425	Nº60	10-25
0.15	Nº100	7-20
0.075	Nº200	5-15

**REQUISITOS DE CALIDAD DEL MATERIAL PARA REVESTIMIENTOS**

<i>Característica</i>	<b>Valor %</b>
Limite líquido, máximo	30
Índice plástico, máximo	15
Equivalente de arena; % mínimo	30
Valor Soporte de California (CBR) <sup>[1]</sup> , mínimo	50
Grado de compactación <sup>[2]</sup> , mínimo	95

*Los revestimientos* más comunes en México son los siguientes:

- Es usual en las zonas montañosas con alto régimen pluviométrico y con terracerías de tipo plástico, que la conservación se vuelva demasiado costosa ya que tiende a incrustarse el material en la terracería, por lo que se recomienda mejorar esta última capa con cal o cemento en un espesor de aproximadamente 15.0 cm, para provocarle mayor dureza para después colocar el revestimiento, que podría ser un material pétreo seleccionado, con este tipo de mejoramiento se induce una cierta dureza que evita que la terracería absorba el revestimiento.
- En las zonas desérticas donde se tienen materiales duros pero inertes, si empleamos el material en esas condiciones es probable que el tránsito desaloje hacia las orillas el material, formando ondulaciones longitudinales y transversales haciendo incomodo el transitar por ellas. En estos casos se mezcla emulsión asfáltica con el pétreo en una proporción de 60 a 80 l/m<sup>3</sup> y una vez extendido y compactado se aplica un poreo regando superficialmente



2 l/m<sup>2</sup> de emulsión asfáltica, para después cubrirla con arena y con esto tapar los huecos que pudieran quedar, cumpliendo una función de sello.

- En las regiones costeras la superficie de rodamiento se construye mezclando arena con emulsión asfáltica en una proporción de 120 a 140 l/m<sup>3</sup> de arena, sin necesidad en este caso de poreo posterior ya que la granulometría de la arena sella los probables huecos que se tengan.
- Estos no son los únicos casos que se presentan, existiendo infinidad de alternativas y soluciones, siendo la más adecuada la que resulte más económica y funcional, pensando en emplear materiales propios de la zona donde se está efectuando el revestimiento, utilizando materiales tales como conchillas, arcillas calcinadas, desechos de productos industriales etc.

### **MATERIALES PARA SUB-BASE**

**Sub- base:** algunas de las funciones de la sub- base es evitar que el pavimento sea absorbido por las terracerías, también provoca que el agua que llega a penetrar por la parte superior pueda desalojarse rápidamente descendiendo a la subrasante en la que por su propia granulometría será desalojada por bombeo, además deberá transmitir las cargas en forma disipada hacia las capas inferiores (terracerías). **no es indispensable** que se coloque en todos los caminos a menos que el diseño estructural así lo indique. Además de lo anterior su principal función es la economía ya que es más fácil encontrar materiales de este tipo en el campo que requieren de un tratamiento menor que el material empleado en las bases, su espesor mínimo es de **15 cm**. Esta clase de materiales también se colocan debajo de las losas de concreto hidráulicos de los pavimentos rígidos y no cumplen una función estructural solo de sustentación en este tipo de obras.

Son materiales granulares, que se colocan sobre la subrasante, para formar una capa de apoyo para la base de pavimentos asfálticos

Según el tratamiento que se les puede aplicar se consideran:

- **Materiales naturales:** son las arenas, gravas, limos y rocas muy alteradas que al extraerlos queden sueltos o se disgreguen usando maquinarias y no contendrán más de 5% de partículas mayores de 75 cm. ni más del 25% de material que pasen la malla No. 200 (0.075mm).
- **Materiales cribados:** son arenas gravas, limos o rocas alteradas y fragmentadas para hacerlos utilizables requieren de un tratamiento de cribado para satisfacer la composición granulométrica.
- **Materiales parcialmente triturados:** Son los pocos o nada cohesivos, como mezclas de gravas, arenas y limos, que al extraerlos quedan sueltos o pueden ser disgregados, con el equipo adecuado, para satisfacer la composición granulométrica.



- ➔ **Materiales totalmente triturados:** son aquellos extraídos de un banco o pepenados que requieren de trituración total y cribado.
- ➔ **Materiales mezclados:** la mezcla de dos o más materiales en las proporciones necesarias para satisfacer la norma.

**REQUISITOS DE CALIDAD DE LOS MATERIALES PARA SUB-BASES DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS.**

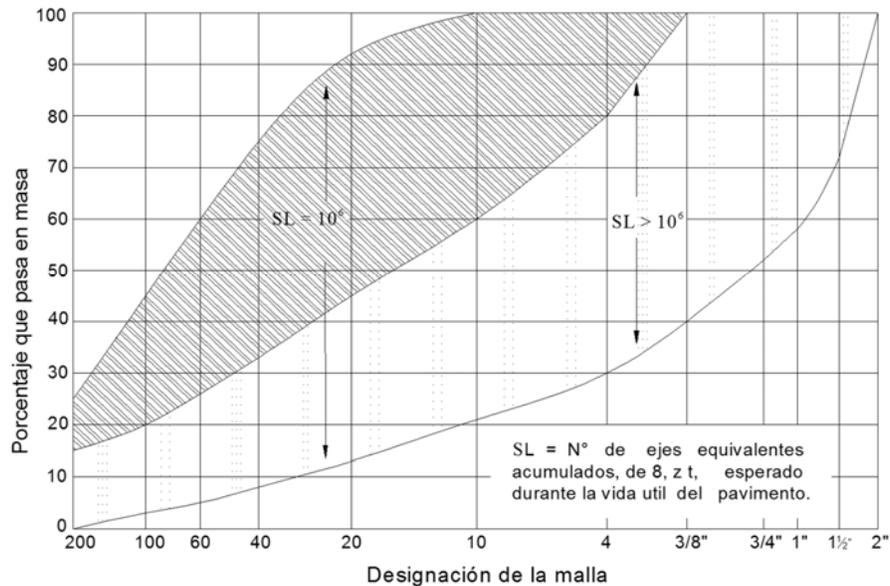
<i>Característica</i>	<i>Valor</i>	
	$\Sigma L \leq 10^6$ (1)	$\Sigma L > 10^6$ (1)
Desgaste los Ángeles, %, Máximo	50	40
Limite líquido, %, máximo	30	25
Índice plástico, %; máximo	10	6
Valor soporte de California (CBR), %, mínimo.	50	60
Equivalente de arena, mínimo, %	30	40
Grado de compactación mínimo (basado en Proctor modificada)	100	100

**GRANULOMETRÍA PARA SUB-BASES DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS**

<b>Malla</b>		<b>Porcentaje que pasa</b>	
<b>Abertura mm</b>	<b>Designación</b>	$\Sigma L \leq 10^{6*}$	$\Sigma L > 10^{6*}$
50	2"	100	100
37.5	1 ½"	72-100	72-100
25	1"	58-100	58-100
19	¾"	52-100	52-100
9.5	3/8"	40-100	40-100
4.75	Nº 4	30-100	30-80
2.0	Nº 10	21-100	21-60
0.85	Nº 20	13-92	13-45
0,425	Nº 40	8-75	8-33
0.25	Nº 60	5-60	5-26
0.15	Nº 100	3-45	3-20
0.075	Nº 200	0-25	0-15

*\*Número de ejes equivalentes acumulados de 8.2ton. Esperadas durante la vida útil del pavimento.*

### Zonas granulométricas recomendadas de los materiales para subbases



#### Procedimiento constructivo de la sub-base:

Los materiales que se empleen para su construcción pueden ser gravas, arenas de río, aglomerados, (tepetates), conglomerados o roca masiva que cumplan con la granulometría de las especificaciones.

Si la granulometría del material obtenida de un banco, una vez sometida al tratamiento mecánico no reúne los requisitos de las norma, se podrá mezclar con materiales de otros bancos en las proporciones adecuadas para cumplir. En ningún caso es aceptable mezclar con finos que proporcionen plasticidad a la mezcla, siendo el contratista responsable del proceso de mezclado para garantizar homogeneidad evitando su segregación o degradación.

Con objeto de controlar la calidad del material por cada 200 m<sup>3</sup> de material, se realizaran las pruebas necesarias que aseguren cumplen con la granulometría y el equivalente de arena indicados en la norma.

Por cada 2000 m<sup>3</sup> o fracción de material extraído del mismo banco, se realizaran todas las pruebas para verificar que cumpla con lo establecido en la norma.

Se acarrean a la obra el material donde se acordonan para medir su volumen y en caso de faltantes se hagan los recargues necesarios. Si para el mezclado y el tendido se emplea una motoconformadora se extenderá parcialmente el material y se procederá a incorporarle el agua por medio de riegos y mezclados sucesivos hasta alcanzar la

humedad fijada en el proyecto. Se debe evitar la separación de materiales pues de lo contrario no se tendrá un material con la consistencia y resistencia adecuada, se requiere uniformidad en la granulometría y contenido de agua, a continuación se tenderá y se aplica la compactación que indica el proyecto sin fatigarla, ya que el exceso de compactación con equipo vibratorio rompe la estructura de las capas inferiores y en el otro caso cuando es menor la compactación quedan flojos y por consecuencia faltos de resistencia:



*Compactación del material      Tendido del material*

### MATERIALES PARA BASES

**Base:** es una de las partes del pavimento que absorbe la mayor parte de los esfuerzos provocados por el tránsito (40-60%), en realidad se le coloca la carpeta asfáltica arriba de ella porque el material que se emplea en la base es muy friccionante y en la superficie no presenta confinamiento, razón por la cual requiere encima de ella un material impermeable y con mayor cohesión, cualidad que presenta la carpeta asfáltica. En algunas ocasiones se le mejora con algún producto químico o un geotextil (**estabilización**) para que su módulo de elasticidad resulte semejante al de la carpeta y puedan trabajar en conjunto sin presentar fallas prematuras, su **espesor mínimo es de 15 cm.**

Generalmente al material empleado en su construcción se le aplica un tratamiento previo que puede ser **cribado, trituración parcial, trituración total o mezcla de materiales.**

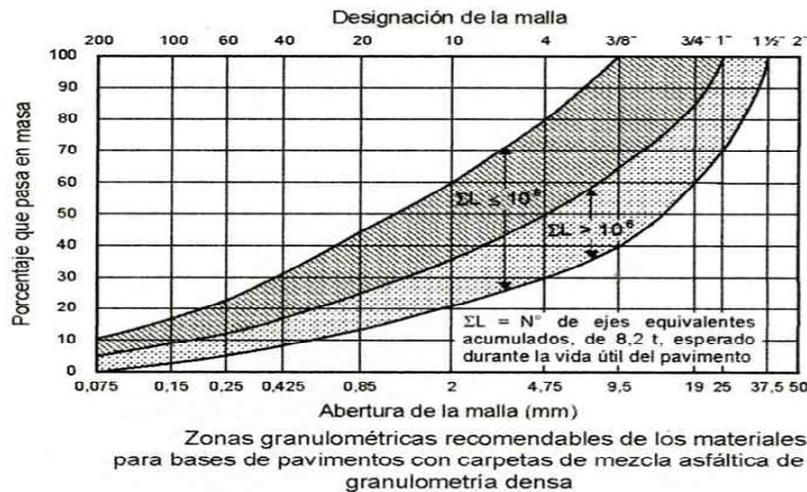
El material cribado, parcialmente triturado, totalmente triturado o mezclado, que se emplee en la construcción de bases para pavimentos asfálticos o para pavimentos de concreto hidráulico, tendrá los siguientes requisitos de calidad:



## CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES DE BASE HIDRÁULICA

### BASES DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS DE GRANULOMETRÍA DENSA

Malla		Porcentaje que pasa	
Abertura mm.	Designación	$\Sigma L \leq 10^{6*}$	$\Sigma L > 10^{6*}$
37.5	1½"	100	100
25	1"	70-100	70-100
19	¾"	60-100	60-86
9.5	3/8"	40-100	40-65
4.75	Nº 4	30-80	30-50
2	Nº 10	21-60	21-36
0.85	Nº 20	13-44	13-25
0.425	Nº 40	8-31	8-17
0.25	Nº 60	5-23	5-12
0.15	Nº 100	3-17	3-9
0.075	Nº 200	0-10	0-5





<b>Característica</b>	<b>Valor %</b>	
	$\Sigma L \leq 10^6$ (1)	$\Sigma L > 10^6$ (1)
Desgaste los Ángeles, %, Máximo	35	30
Limite líquido, %, máximo	25	25
Índice plástico, %; máximo	6	6
Valor soporte de California (CBR), %, mínimo.	80	100
Equivalente de arena, mínimo, %	40	50
Grado de compactación*, %, mínimo	100	100

\*El P.V.S.M. de laboratorio será mediante la prueba AASHTO Modificada.

**GRANULOMETRÍA PARA BASES DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS QUE SEAN CUBIERTAS CON UN TRATAMIENTO ASFÁLTICO SUPERFICIAL**

<b>MALLA</b>		<b>Porcentaje que pasa</b>	
<b>Abertura mm</b>	<b>Designación</b>	$\Sigma L \leq 10^6$	$\Sigma L > 10^6$
37.5	1½"	100	100
25	1"	100	70-100
19	¾"	60-100	60-85
9.5	3/8"	40-83	40-65
4.75	Nº 4	30-67	30-50
2	Nº 10	21-50	21-36
0.85	Nº 20	13-37	13-25
0.425	Nº 40	8-28	8-17
0.25	Nº 60	5-22	5-12
0.15	Nº 100	3-17	3-9
0.075	Nº 200	0-10	0-5



### **RECOMENDACIONES**

No es estrictamente necesario que la granulometría tenga una forma semejante al que marcan las fronteras de las zonas, siendo de mayor relevancia que tengan un V.R.S. (C.B.R) adecuado, con una plasticidad mínima y que el cementante sea suficiente para darle una sustentación adecuada a las carpetas delgadas, ya que cuando comiencen a circular por ella los vehículos le pueden provocar deformaciones transversales (corrimientos) y longitudinales (roderas).

La base es la capa del pavimento flexible que absorbe una gran parte de los esfuerzos provocados por el tránsito, está formada por materiales friccionantes, pero la capacidad de carga de estos materiales es baja en la superficie por falta de confinamiento, por esta razón se coloca la carpeta.

Los materiales a emplearse varían desde gravas, arenas de río o depósitos de roca (aglomerados), materiales ligeros o fuertemente cementados (conglomerados), además de roca masiva con sus respectivos tratamientos de triturado y cribado, existen materiales que aunque finos de origen calcáreo cuando presentan baja plasticidad son aceptados, pero no son confiables los materiales pumíticos (tezontles) pues se desmoronan y provocan cambios volumétricos, además tienden a rebotar bajo las cargas del tránsito, reducen su volumen y al cesar la carga se recobran, este tipo de materiales pueden emplearse en sub bases y terracerías si están rodeados de materiales como el tepetate.

A los materiales en algunas ocasiones se les adicionan algún elemento (cemento Portland, cal, asfalto o algún producto químico) para mejorar sus características y el mezclado puede efectuarse en campo o en planta.

### **PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.**

El material acordonado se abre parcialmente y se agrega agua con la humedad cercana a la óptima que se obtuvo de la prueba de compactación, siendo la humedad de campo óptima en carreteras generalmente menor a la que se obtienen en el laboratorio, ya que esto provoca una mayor resistencia en los materiales.

El agua no se riega de una sola vez sino que se distribuye en varias pasadas; se hace un primer riego y después la motoconformadora abre una nueva porción de material colocándolo sobre el ya humedecido para que vuelva a pasar la pipa y así sucesivamente, para después homogenizar este material con la máquina moto-niveladora.

Cuando la humedad es uniforme, el material se distribuye en toda la corona para formar la capa con el espesor suelto necesario, se deberá cuidar que no haya separación del material fino del grueso, ya extendido el material se compacta hasta alcanzar el grado de compactación que marca el proyecto.



Cabe mencionar que para pasar de **95% a 100 %** de compactación se requiere de un gran esfuerzo que implica un mayor costo y el aumento en la resistencia es mínimo, en este caso se recomienda agregar cal o cemento para aumentar la resistencia, ya que en dado caso de continuar compactando puede suceder que se forme una costra dura en la parte superior y que en algunos casos se reviente la capa por el esfuerzo tan grande que se le está aplicando y no se alcance el grado de compactación que marca el proyecto.

La compactación se efectúa con rodillos lisos y de neumáticos que tengan un peso de 15 a 25 toneladas siendo más eficaces si cuentan con unidad vibratoria, la compactación se efectuara longitudinalmente de las orillas hacia el centro en tangentes y de adentro hacia afuera en curvas, con un traslapé de cuando menos la mitad del ancho del compactador en cada pasada.

El número de calas para conocer el grado de compactación y comprobar el espesor de las capas compactadas se determinara aplicando la siguiente expresión:

$$C = \frac{L}{50}$$

*C=Numero de calas por realizar.*

*L = longitud del tramo construido en un día de trabajo.*

Cuando en las bases se alcanza el grado de compactación del proyecto, estas se dejan secar superficialmente, se barre para retirarle basuras y partículas sueltas y después de esto aplicarle un riego con material asfáltico (emulsión del tipo EAI-60, ECI-60 o bien asfalto rebajado de fraguado rápido) a esto se le conoce como **riego de impregnación**, que sirve para impermeabilizar y estabilizar las bases y además favorece la permeabilidad. La proporción por emplear varía de 1.0 a 1.5 l / m<sup>2</sup> de acuerdo a la porosidad de la base, para verificar que el riego se realizó adecuadamente el asfalto deberá penetrar en dicha capa de 3 a 5 mm.

Este riego puede omitirse si la capa por construir encima es una carpeta asfáltica con espesor mayor o igual que diez (10) centímetros.

El asfalto no deberá quedar arriba formando nata, que puede desestabilizar la capa superior y tampoco deben existir planos de falla (que les falte el producto asfáltico) ya que no existiría quizás una adherencia adecuada.

La temperatura de aplicación de la emulsión será de 40° a 50° Centígrados, no se deberá impregnar con la base mojada, cuando amenace lluvia, cuando la temperatura ambiente sea menor a 15° Centígrados o cuando existan fuertes vientos.

La base impregnada deberá cerrarse al tránsito por lo menos durante 24 horas y se debe proteger. En caso de que la base impregnada no sea cubierta con una carpeta asfáltica inmediatamente y se deba abrir al tránsito durante un tiempo, será necesario aplicarle otro riego que proteja la base y la impregnación.

El espesor de las capas de base por compactar puede ser de 8" (20.0cm.) a 12" (30.0 cm) esto dependerá del peso del equipo.

El riego de impregnación puede funcionar hasta cierto punto como barrera para evitar que la humedad se eleve por capilaridad hasta la carpeta.



***Riego de impregnación***

**Carpeta asfáltica:** es la capa superior de un pavimento flexible que proporciona la superficie de rodamiento, se elabora con materiales pétreos seleccionados y un producto asfáltico que pueden ser emulsión asfáltica, asfalto rebajado o cemento asfáltico dependiendo del tipo de camino que se vaya a construir. Se tienen **mezclas en caliente** (en planta) que son las de mejor calidad por su proceso de fabricación, cuando son de un espesor mayor o igual a cuatro (4) centímetros las carpetas de granulometría densa asumen una función estructural. Se tienen **mezclas en frío** (en el lugar) y **carpetas derriegos** (tratamientos superficiales simples y múltiples) que se emplean cuando la intensidad del tránsito es menor en cuanto a número de vehículos y peso de los mismos o bien cuando no se tiene una planta de concreto asfáltico cercana a la obra.

En algunas ocasiones dependiendo de la precipitación pluvial sobre la carpeta se coloca una carpeta de textura abierta (**open grade**) que se construye sobre una mezcla de granulometría densa, esta capa ayudara a drenar el agua superficial impidiendo la formación de espejos de agua y con ello evitar el **acuaplaneo** en los vehículos ya que existe un mayor contacto entre las llantas y la carpeta, además con ella se aminora el ruido de los vehículos y asimismo se mejora la visibilidad del señalamiento horizontal



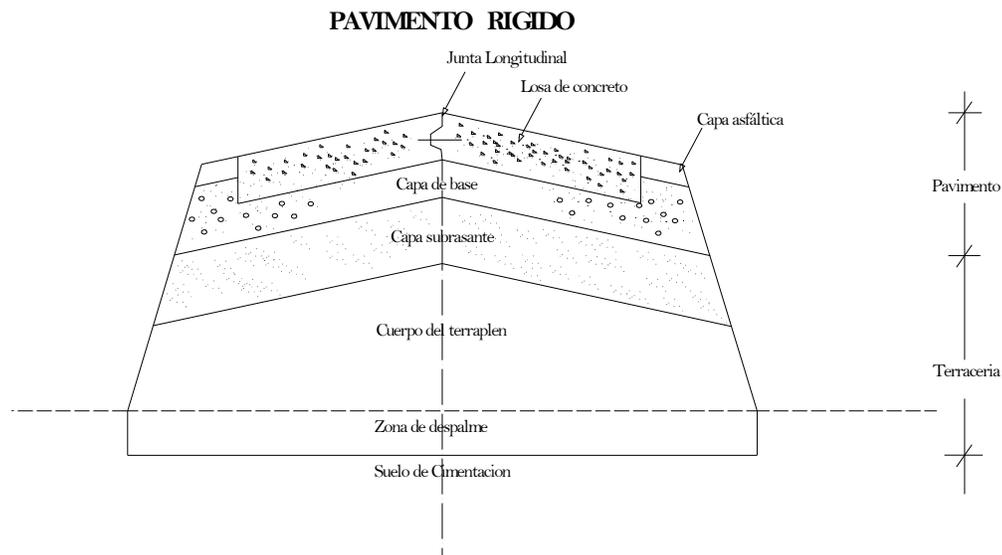
***Tendido y conformación de carpeta asfáltica***

## DEFINICIÓN, FUNCIONES Y NORMAS DE LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS

Los pavimentos rígidos (losas de concreto hidráulico ) resultan más costosos de inicio que los flexibles , ya que su precio de construcción es aproximadamente de 1.5 a 2 veces mayor que el de las carpetas asfálticas; pero tienen la ventaja de que su periodo de vida útil es mucho mayor ( más de 20 años ) su mantenimiento es mínimo y se efectúa regularmente en las juntas y no en las losas, realizándose este trabajo cada tres a cinco años de acuerdo al medio ambiente donde se encuentre el camino, por su color requieren de menor iluminación para circular de noche , no se deforma si tiene un adecuado terreno de cimentación, resultando también esto una de sus desventajas ya que no es recomendable el construirlo en terraplenes altos y en suelos muy blandos.

**Pavimento rígido:** Compuesto de losas de concreto hidráulico (algunas ocasiones armados con acero) en su parte inferior se coloca un material de base que sirve como una capa de sustentación que no cumple funciones estructurales. Dependiendo de las características de calidad de la sub rasante esta capa puede colocarse directamente debajo de la losa si presenta una resistencia adecuada.

El armado de acero no aumenta la resistencia de la losa, ni disminuye el espesor de la misma, en estos casos solo nos proporcionara una distancia de separación de las losas mayor y por consecuencia una menor cantidad de juntas, esto nos provocara menos lugares por donde se pueda infiltrar el agua que es uno de los principales elementos que se deben evitar.





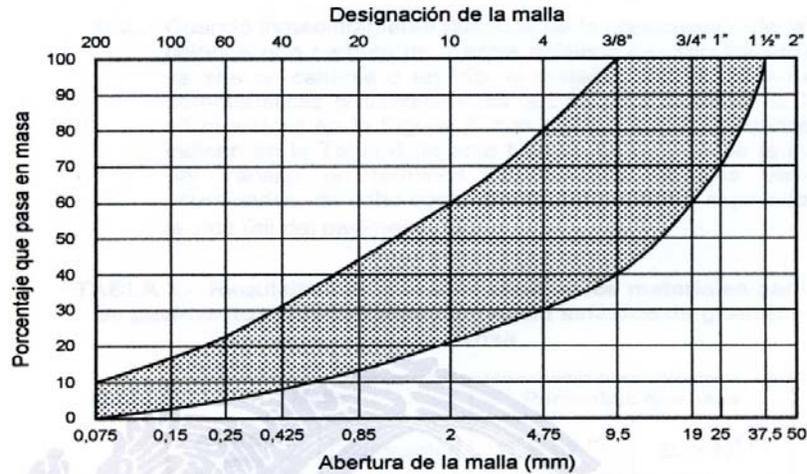
**REQUISITOS DE CALIDAD DE LOS MATERIALES PARA BASE DE PAVIMENTOS DE  
CONCRETO HIDRÁULICO.**

<b>Característica</b>	<b>Valor %</b>
Desgaste los Ángeles,%, Máximo	35
Limite líquido,%, máximo	25
Índice plástico, %; máximo	6
Valor soporte de California (CBR), %, mínimo.	80
Equivalente de arena, mínimo, %	40
Grado de compactación*, %, mínimo	100
Partículas alargadas y lajeadas, máximo	40

\*El P.V.S.M. de laboratorio será mediante la prueba AASHTO Modificada.

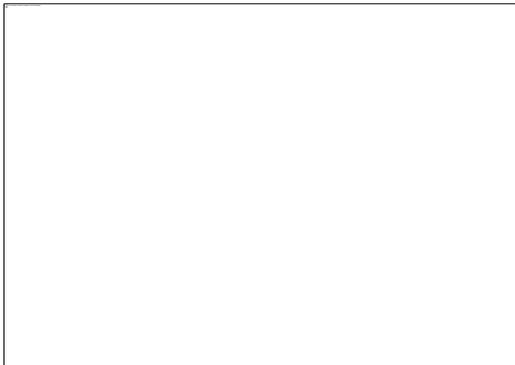
**GRANULOMETRÍA PARA BASES DE CARPETAS DE CONCRETO HIDRÁULICO**

<b>MALLA</b>		<b>Porcentaje que pasa</b>
<b>Abertura mm</b>	<b>Designación</b>	
37.5	1½"	100
25	1"	70 - 100
19	¾"	60 - 100
9.5	3/8"	40 - 100
4.75	Nº 4	30 - 80
2	Nº10	21 - 60
0.85	Nº20	13 - 44
0.425	Nº40	8 - 31
0.25	Nº60	5 - 23
0.15	Nº100	3 - 17
0.075	Nº200	0 - 10



**FIGURA 1.- Zona granulométrica recomendable de los materiales para bases de pavimentos con carpetas de concreto hidráulico**

El material para la base hidráulica será cien (100) por ciento producto de la trituración de roca sana, cuando el tránsito esperando ( $\Sigma L$ ), durante la vida útil del pavimento sea mayor de diez (10) millones de ejes equivalentes acumulados de ocho, dos (8,2) toneladas; cuando ese tránsito sea de uno (1) a diez (10) millones, el material contendrá como mínimo setenta y cinco (75) por ciento de partículas producto de la trituración de roca sana y si dicho tránsito es menor a un (1) millón, el material contendrá como mínimo cincuenta (50) por ciento de esas partícula



***Tendido de concreto hidráulico con cimbra deslizante***



## RECOMENDACIONES GENERALES

La resistencia de las capas, no solo depende de la calidad del material que lo constituye, también influyen el procedimiento constructivo, principalmente la compactación y la humedad, ya que cuando los materiales no se acomodan debidamente estos se densifican por la acción de las cargas aplicadas y es cuando se producen deformaciones permanentes.

Los materiales para construir un pavimento debe seleccionarse y tener una calidad adecuada, regularmente normada por alguna dependencia, este tipo de materiales generalmente no se encuentran en estado natural y se les aplicara un tratamiento previo.

En secciones en corte los taludes son de cero para roca firme, de  $\frac{1}{4}$ : 1 para pizarras, lutitas y calizas, de  $\frac{1}{2}$ : 1 en tepetates, arcillas o rocas fisuradas.

El talud más común es 1.5:1, sin embargo cuando se forman con arenas es conveniente darle valores de 3:1 hasta 5:1. En todos los casos se recomienda provocar el crecimiento de hierba para que exista agarre del material con las raíces y no se deslave fácilmente.

Los pavimentos flexibles son más económicos de inicio en su construcción y pueden colocarse en cualquier tipo de terreno ya que por las características dúctiles del asfalto se acomodan a cualquier deformación sin romperse. Presentan la desventaja que tiene una vida útil de diseño relativamente corta que varía de diez a quince años, requieren de un mantenimiento constante, y por consecuencia el cierre de las vialidades lo que nos ocasiona perdida de horas hombre, por su color oscuro requieren de mayor iluminación para circular por ellos en horario nocturno, pero tienen la ventaja de que pueden abrirse al tránsito en poco tiempo, lo cual no se hace con los rígidos en los ellos se realiza la circulación hasta que el concreto presenta una resistencia del 90% como mínimo((aproximadamente 24 días). Se cuenta con varias pruebas para medir las propiedades de resistencia y deformación de los suelos arbitrarias en su mayoría, pero su utilidad radica en que se pueden establecer correlaciones con lo que sucede en la obra, se emplean para controlar la calidad de los materiales que forman la sección estructural del camino, cuando se determina el espesor mínimo de una capa el objetivo es que con este volumen se reduzcan los esfuerzos sobre la capa inmediata inferior.

El proyectar la estructura de un pavimento, no es una ciencia exacta, las diferentes variables como las cargas en movimiento, los distintos tipos de cargas, la estructura del suelo, la presión de los neumáticos, el nivel de aguas, etc. hacen imposible reducir este problema a términos matemáticos exactos como en las estructuras metálicas.



La práctica actual se basa en formulas obtenidas de pruebas de carga y otros factores, como la observación de pavimentos en servicio.

Puesto que las obras de ingeniería, deben planearse económicamente, para no realizar una inversión con bajo grado de utilización inicial, deberán realizarse proyectos para obtener el máximo aprovechamiento de lo que se invierte. En el caso de carreteras y aeropuertos nuevos, generalmente el grado de utilización inicial resulta bajo, por esto es conveniente planear en estas obras la construcción por etapas, considerando que de esta manera la inversión se efectúa en plazos; durante ese lapso de tiempo se proporcionara un reacondicionamiento a la superficie de rodamiento de acuerdo a como se vaya presentando la intensidad del transito

Las condiciones necesarias para el funcionamiento adecuado de caminos y de pistas debe ser el siguiente:

- Anchura y trazo horizontal adecuados.
- Resistencia a las fallas y hundimientos provocados por las cargas, la propia de la estructura y la de las cargas móviles.
- Adherencia adecuada entre la superficie de rodamiento y el vehículo, aun en condiciones húmedas.
- Resistencia a los efectos destructivos del tránsito, de la intemperie y del agua ya sea capilar o de lluvia.
- Visibilidad adecuada y un paisaje agradable, para no provocar fatigas, además de contar con las instalaciones adecuadas para circular y parar con seguridad.



## ESTUDIOS A MATERIALES DE TERRACERÍAS.

Al terminar la proyección de un camino, para que esta sea económica y funcional, deberá tomarse en cuenta algunas cuestiones como las siguientes.

- ▶ Cumplir con las especificaciones de la pendiente longitudinal.
- ▶ Tener altura suficiente para dar cabida a las obras de drenaje.
- ▶ Contar con características adecuadas, para que el agua capilar no afecte el pavimento.

Para iniciar la construcción de un camino, se empieza por el **desmante**: el cual consiste en despejar de vegetación, la zona del derecho de vía y el lugar donde estarán ubicados los bancos de préstamo.

Esta operación incluye la **tala** (que consiste en cortar árboles y arbustos) **la roza** (quitar maleza, hierbas y residuos de siembras) y por último la limpieza y el acomodo en un lugar adecuado de lo no utilizable.

El desmante deberá estar terminado un kilómetro delante del frente de ataque. Los tipos de vegetación más comunes en México y que se deben considerar para el pago son: el manglar, la selva o bosque, monte de regiones áridas, montes de regiones desérticas, zonas de cultivo y pastizales.

Los materiales de los cortes y de los bancos de préstamo, se clasifican de acuerdo a su dificultad de extracción y de carga, además basado en estas características se cobrara diferente su extracción y acarreo. Estos materiales pueden ser de: tipo **(A)** que son suelos blandos que se pueden extraer y cargar con herramientas convencional, tipo **(B)** los cuales para su extracción se requiere de un equipo con una fuerza mínima de 110 h.p. y pueden ser arenas o tepetates cementados, el tipo **(C)** son aquellos en los que se requiere una fuerza mayor que los anteriores para extraerlos o bien usar explosivos y en estos casos se tiene a las rocas y a los materiales fuertemente cementados.



*Zona de Pastizales*



## CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN EL S.U.C.S.

Como se ha podido observar la mayor parte de la normatividad está basada en la clasificación de materiales y en muchas de las pruebas que ya se vieron en mecánica de suelos, es por esto que se efectuara un repaso de lo aprendido anteriormente, para tener un concepto más claro de lo que se está comentando, de acuerdo con esto se consideraran los siguientes conceptos y algunos parámetros nuevos que son aplicados de manera específica en pavimentos y terracerías.

Se le nombra como **suelo** a las partículas de material que pasan la malla de 3" (7.6cm.) de diámetro de acuerdo a la clasificación del **S.U.C.S. (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)** y se consideran los siguientes:

**Suelos Gruesos:** Gravas (**Gravel**) arenas (**Sand**) separados por la malla N° 4 y pueden ser bien (**well**) o mal (**poorly**) graduados, se evalúan por su **granulometría**

Las gravas pasan la malla de 3" y se retienen en la malla N° 4. (4.75mm)

Las arenas pasan la malla N° 4 y se retienen en la N° 200. (0.075mm)

Los finos pasan la malla N° 200 y se clasifican en base a su **plasticidad**.

### LA CLASIFICACIÓN SE PUEDE REALIZAR DE LA SIGUIENTE MANERA

#### **Suelos gruesos**

- Gravas o Arenas con % de finos <5% bien graduados (GW o SW)
- Gravas o Arenas con % de finos >12% mal graduados (GP o SP)(GC o SM)
- Para definir la buena o mala graduación empleamos los índices de **Hassen** de acuerdo a su coeficiente de uniformidad (**Cu**) y a su coeficiente de curvatura (**Cc**), estos parámetros se obtienen con las siguientes expresiones.

	<b>GW</b>	<b>SW</b>
$Cu = \frac{D60}{D10}$	$Cc = \frac{(D30)^2}{(D60)(10)}$	$Cu >4 \quad Cu >6$

Con un  $Cc > 1 \leq 3$  en ambos casos

Los valores de D<sub>10</sub>, D<sub>30</sub> y D<sub>60</sub>, se obtienen de la curva granulométrica.



- Gravas o Arenas con finos no plásticos  $>12\%$  en peso se pueden clasificar como (GM) o (SM)
- Material que contiene finos plásticos y un % en peso  $>12\%$  se clasifican como (GC) o (SC)
- Con un % de finos entre **5 y 12%** se consideran casos de frontera y se les adjudicaran un símbolo doble (SP-SC) o (GP-GC), etc.
  
- **Suelos Finos:** Limos (M), Arcillas (C) Materia orgánica (O) Turba (Pt), los cuales encontramos en diferentes cuadrantes de la **carta de plasticidad**.
  
- (CL) Aquel material que se encuentra sobre la línea (A) y tiene un Límite líquido  $< 50\%$  e índice plástico  $> 7\%$
- Material (CH) sobre la línea (A) con un límite líquido  $> 50\%$
- (ML) ubicado bajo línea (A) y un Límite líquido.  $< 50\%$
  
- (MH) bajo la línea (A) Límite líquido  $> 50\%$
- (CL-ML) con un índice plástico entre 4 y 7% es un caso de frontera sobre línea "A"
- La materia orgánica puede ser (OL-OH) se encuentra en la misma zona que los limos, pero en lugares próximos a la línea "A", tienen materia orgánica visible y olor característico.
- Turba (Peat) presenta un límite líquido entre 300% a 500% y un índice plástico entre 100% a 200%, material inestable que no se recomienda emplear en ninguna capa del camino.

**TABLA 3.- Clasificación de suelos con base en el SUCS**

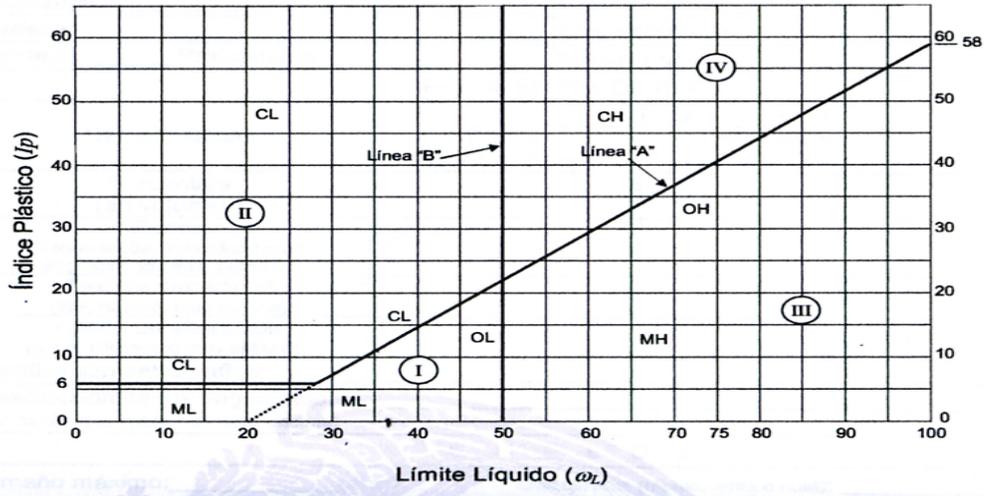
Tipo	Sub-Tipos	Identificación		Símbolo de Grupo			
SUELOS (partículas menores de 7.5 am)	SUELOS GRUESOS Más de la mitad del material se retiene en la malla N°200 (0.075 mm)	GRAVA Más de la mitad de la fracción gruesa se retiene en la malla N°4	GRAVA LIMPIA  (Poco o nada de partículas finas)	Grava bien graduada; mezcla de grava y arena con poco o nada de finos. Debe tener un coeficiente de uniformidad ( $C_u$ ) mayor de 4 y un coeficiente de curvatura ( $C_c$ ) entre 1 y 3 <sup>[1]</sup>	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	GW	
			GRAVA CON FINOS  (Cantidad apreciable de partículas finas)	Grava mal graduada; mezcla de grava y arena con poco o nada de finos. No satisface los requisitos de graduación para GW.	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	GP	
			GRAVA CON FINOS  (Cantidad apreciable de partículas finas)	Grava limosa; mezcla de grava, arena y limo.	Más de 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como ML o MH (véanse abajo los grupo ML y MH)	GM	
				Grava arcillosa; mezclas de grava, arena y arcilla	Más de 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como CL o CH (véanse abajo los grupo CL y CH)	GC	
			ARENA Más de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla N°4	ARENA LIMPIA  (Poco o nada de partículas finas)	Arena bien graduada; mezcla de arena y grava con poco o nada de finos. Debe tener un coeficiente de uniformidad ( $C_u$ ) mayor de 6 y un coeficiente de curvatura ( $C_c$ ) entre 1 y 3 <sup>[1]</sup>	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	SW
				ARENA CON FINOS  (Cantidad apreciable de partículas finas)	Arena mal graduada; mezcla de arena y grava con poco o nada de finos. No satisface los requisitos de graduación para SW.	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	SP
	SUELOS FINOS Más de la mitad del material pasa la malla N°200 (0.075 mm)	LIMO Y ARCILLA Límite Líquido	Menor de 50%	Limo de baja compresibilidad; mezcla de limo de baja plasticidad, arena y grava; polvo de roca. Se localiza dentro de la zona I de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	ML		
			Mayor de 50%	Arcilla de baja compresibilidad; mezcla de arcilla de baja plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona II de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	CL		
			Menor de 50%	Limo orgánico de baja compresibilidad; mezcla de limo orgánico de baja plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona I de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	OL		
			Mayor de 50%	Limo de alta compresibilidad; mezcla de limo de alta plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona III de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	MH		
			Mayor de 50%	Arcilla de alta compresibilidad; mezcla de arcilla de alta plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona IV de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	CH		
			Mayor de 50%	Limo orgánico de alta compresibilidad; mezcla de limo orgánico de alta compresibilidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona III de la Carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	OH		
ALTAMENTE ORGÁNICOS		Turba, fácilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa.		PT			

[1] Los coeficientes de uniformidad ( $C_u$ ) y de curvatura ( $C_c$ ), que se utilizan para determinar la graduación de los suelos GW, GP, SW y SP están dados por las siguientes expresiones:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}, C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

Donde  $D_{10}$ ,  $D_{30}$  y  $D_{60}$  son los tamaños de las partículas para el cual el 10, 30 y 60% en masa del material es menor que esos tamaños, respectivamente, determinados gráficamente de la curva granulométrica como se indica en el Manual M-MNP-1-06, *Granulometría de Materiales Compresibles para Terracerías*.

**CARTA DE PLASTICIDAD**



*Ro-tap para granulometría*



*Equipo para límites de consistencia*



## CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN LA S.C.T.

**Suelo:** partículas de material con un diámetro menor a 7.6cm. (3")

Las clasificaciones más común que se emplean en carreteras para identificar un material es la que propone el sistema unificado de clasificación de suelos (S. U. C. S) complementado por lo que marca la S.C.T. (Secretaria de Comunicaciones y Transportes)

**Fragmento de roca:** son aquellos diámetros mayores de 7.6 cm. y que no forman parte de un manto rocoso, En forma general se les clasifica por su diámetro de la siguiente manera:

- ▶ Fragmentos de roca grandes (**Fg**) que van de 0.75 m a 2.0 m.
- ▶ Fragmentos de roca mediano (**Fm**) que van de 0.20m a 0.75 m.
- ▶ Fragmentos de roca chicos (**Fc**) que van de 0.075m a 0.20 m.

Se les clasifica como **roca** a todo aquel material que forma parte de un manto rocoso y tiene un diámetro mayor a 2.0 m.

Cuando se tenga que hacer la clasificación de estos materiales se tomara en cuenta lo siguiente: se clasificaran combinando los símbolos que corresponden a las porciones que los integren.

Cuando los fragmentos de roca contengan más del 10% de suelo, el material se clasificara con símbolo doble.

Si el volumen de **suelo** es mayor del 50%, el símbolo de éste se antepondrá al de los fragmentos de roca, si la cantidad de suelo está entre 10 y 50% su símbolo se colocara enseguida de los fragmentos, si alguno de los materiales presenta menos del 10% no se anotara el símbolo de los mismos ejemplos:

I	II	III	IV
60% de GC	40% de Fm	55% de SM	40% de Fm
20% de Fg.	30% de SM	30% de Fg.	35% de SC
15% de Fm	20% de Fc	15% de Fm	20 % de Fc
5% de Fc	10 % de Fg.		5% de Fg.

Su clasificación seria:

<b>GC-Fgm</b>	<b>Fmcg-sm</b>	<b>SM-Fgm</b>	<b>Fmc-SC</b>
---------------	----------------	---------------	---------------



### CLASIFICACIÓN DE LOS FRAGMENTOS DE ROCA

<b>Tipo</b>	<b>Subtipos</b>	<b>Identificación</b>	<b>Símbolo de grupo</b>
Fragmentos de roca (tamaños mayores de 7,5 cm. y menores de 2 m)	Grandes (mayores de 75 cm. y menores de 2 m)	Fragmentos grandes, con menos de 10% de otros fragmentos de suelo	Fg
		Fragmentos grandes mezclados con fragmentos medianos, predominando los grandes, con menos de 10% de fragmentos medianos de suelo.	Fgm
		Fragmentos grandes mezclados con fragmentos chicos predominando los grandes, con menos de 10% de Fm y de suelo.	Fgc
		Fragmentos grandes mezclados con fragmentos medianos y chicos predominando los grandes sobre los medianos y estos sobre los chicos con menos de 10% de suelo	Fgmc
		Fragmentos grandes mezclados con fragmentos chicos y medianos, predominando los grandes sobre los chicos y estos sobre los medianos, con menos de 10% de suelo	Fgcm.
	Medianos (mayores de 20 cm. y menores de 75 cm.)	Fragmentos medianos con menos de 10% de otros fragmentos de suelo	Fm
		Fragmentos medianos mezclados con fragmentos grandes, predominan los primeros a los grandes, con menos de 10% de suelos y Fc.	Fmg
		Fragmentos medianos mezclados con fragmentos grandes y chicos predominan los medianos sobre los grandes y estos sobre los chicos, menos de 10% suelo.	Fmgc.
		Fragmentos medianos mezclados con chicos y grandes, predominan los medianos sobre los chicos y estos sobre los grandes, menos de 10% de suelo.	Fmcg
		Fragmentos chicos con menos de 10% de otros fragmentos de suelo.	Fc.
	Chicos (mayores de 7,5 cm. y menores de 20 cm.)	Fragmentos chicos mezclados con fragmentos grandes, predominan los chicos, con menos de 10% de suelos.	Fcg.
		Fragmentos chicos mezclados con Fm. Predominan los primeros y menos de 10% de Fg. Y suelos.	Fcm.
		Fragmentos chicos mezclados con Fg. Y Fm. Predominan los primeros sobre los grandes y estos sobre los medianos con menos de 10% de suelo	Fcgm.
		Fragmentos chicos mezclados con Fg. Y Fg. Predominando los chicos sobre los medianos y estos sobre los grandes, con menos de 10% de suelo	Fcmg



---

## **ESTUDIO DEL TERRENO NATURAL.**

---

Este tipo de trabajos resultan de gran importancia , pues de su conocimiento dependerá lo siguiente : Empleo del equipo adecuado para poder extraer y transportar el material, tipo y cantidad de mano de obra que se requiere, la determinación y el uso de materiales de calidad adecuada en la construcción.

Además permitirá ubicar los posibles bancos de préstamo y estimar su volumen rentable aproximado, observar las modificaciones que deberán sufrir el terreno para hacerlo útil, y con esto garantizar un buen comportamiento del mismo cuando se use como terreno de cimentación.

Se deberán efectuar recorridos a pie o en algún vehículo adecuado, a lo largo y cercano al eje del camino, donde se puedan ubicar los probables bancos de préstamo de material, además se realizan **estudios geológicos** que nos proporcionan información sobre el origen y la composición estratigráfica del suelo. **Sondeos geofísicos** que nos indican las dimensiones de las masas de tierra, de rocas y además un estudio completo de **mecánica desuelos** para conocer de manera más amplia las características de los materiales a emplear.

Los trabajos de mecánica de suelos se dividen en dos etapas: trabajos preliminares y definitivos o directos, en los cuales se efectúan ensayos que nos indican las características de los materiales que se emplearan en la obra y del propio terreno natural. Los estudios se efectúan en lugares seleccionados para posibles bancos de préstamo de material, sobre el eje del camino y en lugares cercanos al mismo para tener una idea lo más aproximada de las condiciones de la obra. A estos materiales se les realizan los ensayos correspondientes para poder identificarlos y clasificarlos.

Los sondeos pueden realizarse con un espaciamiento en el eje del camino de 300 a600 metros, dependiendo de las características del terreno, en cuanto a su homogeneidad.

La profundidad podría ser, para terrenos suaves de 2.00 a3.00 metros y para terreno duro de 1.0 a1.5 metros.



*Retroexcavadora efectuando pozo a cielo abierto*

Los ensayos que se efectúan en los estudios preliminares en suelos y fragmentos de roca (**clasificación de suelos en el campo**) se realizan para tener una idea aproximada de sus características y pueden ser las siguientes:

❖ **En suelos.**

Con la fracción de material que pasa la malla No 40.

- **Dilactancia:** (movilidad del agua) preparar una masilla de material y colocarla en la palma de la mano, golpearla vigorosamente con la otra mano y observar el tiempo que tarda en ponerse lustrosa la superficie, esto es indicio de que el agua ascendió a la superficie; de acuerdo a la velocidad con que se ascienda se puede clasificar, como arena (S) si fue rápido, un limo (M) si su reacción fue media y se trata de una arcilla (C) si no tiene reacción.
- **Resistencia en estado seco:** se moldea un cubo de material que se pone a secar en una parrilla, cuando ha perdido totalmente la humedad se trata de romper o desmoronar con los dedos y de acuerdo a su resistencia baja o nula arena, medio un limo, alta una arcilla.
- **Tenacidad:** se trata de encontrar la consistencia cercana al límite plástico del material, formando un rodillo de aproximadamente 10.0 cm. de largo y de 3.0 mm. De diámetro, la arcilla tarda bastante en romperse o agrietarse, esto nos indica que tiene una tenacidad muy alta, el limo presenta una tenacidad media y la arena presenta baja tenacidad o nula.
- **Sedimentación:** consiste en colocar una porción de material seco en un recipiente con agua y tomar el tiempo que tarda en asentarse. Las arenas por su propio peso presentan una sedimentación rápida con un tiempo aproximado de 5 a 10



segundos, los limos se asientan en un tiempo de 15 a 180 segundos y por último las arcillas que se asientan en un tiempo de 15 minutos hasta 72 horas.

- Otras pruebas serían: adherencia a la piel, olor, color, reacción al ácido, estas últimas nos indican principalmente la presencia de materia orgánica o de carbonatos en el material.
- **Granulometría:** se extiende una muestra seca de material con tamaño menor a 7,5 cm. sobre una superficie plana con el propósito de estimar en forma aproximada los porcentajes de los tamaños de las partículas, forma y composición mineralógica.
- **Color:** es un dato útil para distinguir los diferentes estratos o bien con cierta experiencia se puede distinguir por un color oscuro indicios de materia orgánica y los colores claros son suelos ácidos.
- **Olor:** los suelos orgánicos por lo general presentan un olor distintivo que puede emplearse para identificarlos, siendo muy intenso cuando están húmedos.

❖ **En los fragmentos de roca y en las gravas se estimara:**

- **Textura:** lisa, rugosa y muy rugosa y en caso de tener poros se menciona.
- **Forma:** angular, lajeada, acicular (en forma de aguja) sub redondeada, redondeada.
- **Densidad:** alta o baja.
- **Absorción:** alta o baja.
- **Grado de alteración:** sanos, alterados y muy alterados

**Otras pruebas serian:** graduación aproximada, indicando ciertos porcentajes dominantes. Tamaños máximos de las partículas, mineralogías, color, olor, contenido de humedad, cementación, nombre Geológico, grupo o símbolo.

Se deben realizar algunos sondeos **geofísicos** para conocer algunas características de las masas de material, ya que con este tipo de trabajos se puede obtener información, como ciertas particularidades de los materiales o bien obtener de forma aproximada los volúmenes de material que se pueden tener en los bancos de préstamo.

**Banco de préstamo longitudinal:** es aquel producto de cortes y acarreo de material en una distancia máxima de 20 metros con respecto del eje del camino.

**Banco de préstamo lateral:** aquel que se obtiene de la excavación a los lados del camino en una franja de 20 hasta 100 metros con respecto del eje del camino.

**Banco de préstamo:** excavación ejecutada en lugares fijados de antemano y fuera de la faja de 100 metros.

En los estudios de mecánica de suelos se pueden hacer sondeos para obtener muestras **alteradas** e **inalteradas**, siendo las primeras las más empleadas en pavimentos, en este caso se puede obtener de pozos a cielo abierto, cortes en el terreno natural o del camino, con posteadora o muestreo en paredes. A este tipo de muestras se les envasa en costales



de lona, debiendo tener un peso aproximado de 80 Kilogramos, se le colocan etiquetas con datos como lugar: de extracción, profundidad, operador, fecha, etc. Se mandan al laboratorio para que se realicen los ensayos adecuados y se pueda definir con mayor certeza la capa del camino donde pueden emplearse.

A el laboratorio llegan las muestras donde se procede a secarlas máximo a 60° C, disgregarlas y cuartearlas para efectuarles los ensayos correspondientes.

**LAS PRUEBAS MÁS COMUNES QUE SE REALIZAN EN EL LABORATORIO SE PUEDEN CATALOGAR POR LO SIGUIENTE:**

**Pruebas de clasificación:** nos indica el tipo de suelo y en que capas, del camino puede emplearse de acuerdo a sus características.

**Pruebas de control:** permite verificar la calidad de las obras, algunas son semejantes a las de clasificación, presentando algunas pruebas especiales.

**Pruebas de proyecto:** se emplean para dimensionar las secciones correspondientes, desde el punto de vista estructural, se efectúan diferentes ensayos cuyos resultados se correlacionan con el comportamiento real de las estructuras se obtienen nomogramas de proyecto. En general con la pruebas de resistencia se dimensionan las capas superiores y se revisan las inferiores, efectuando las correlaciones necesarias.

**TIPOS DE PRUEBAS Y CAPAS DEL PAVIMENTO DONDE SE REALIZAN.**

**I.-Terracerías:**

- *Clasificación:* contenido de humedad, límites de consistencia, granulometría.
- *Control:* pesos volumétricos, valor relativo de soporte.

**II.-Subrasante:**

- *Clasificación:* mismos que la capa anterior.
- *Control:* pesos volumétricos., valor relativo de soporte, expansión.
- *Diseño:* valor relativo de soporte (C.B.R.) de campo o Porter Modificada, del cuerpo de ingenieros de EE.UU., prueba de placa.

**III.-sub- base y base:**

- *Clasificación:* mismas de la capa anterior.
- *Control:* pesos volumétricos, valor relativo de soporte (C.B.R.), expansión, equivalente de arena, contracción lineal, forma de la partícula, desgasté los Ángeles

- *Diseño:* Mismas que la capa anterior.
  - ◆ En materiales estabilizados en base y sub-base
  - ◆ *Control:* perdida por cepillado, estabilidad, resistencia a la compresión, adherencia entre pétreo y asfalto.
  - ◆ *Diseño:* compresión simple, Hubbard-Field, Hveem, Valor soporte Florida modificada.

#### **IV. Carpetas asfálticas:**

- *Clasificación:* mismas que las capas anteriores, para los pétreos
- *Control de los pétreos:* Desgaste los Ángeles, equivalente de arena, intemperismo acelerado, forma de la partícula, adherencia, densidad relativa, perdida de estabilidad.
- *Control en los asfalto:* viscosidad dinámica, viscosidad cinemática, viscosidad, Saybolt-Furol, penetración, punto de inflamación, solubilidad, punto de reblandecimiento, prueba de la película delgada, ductilidad.
- *Control en las emulsiones:* contenido de cemento asfáltico, viscosidad, asentamiento, retenido en malla N°20, cubrimientos, miscibilidad con cemento Pórtland, carga eléctrica, demulsibilidad, penetración, ductilidad, solubilidad, asentamiento en 5 días, acides, rompimiento.
- *Diseño:* Marshall, compresión simple, Hveem, Hubbard Field.

#### **V.- Losa de concreto:**

- *Clasificación:* Mismas que las capas anteriores.
- *Control:* Desgaste de los Ángeles, equivalente de arena, intemperismo acelerado, modo de finura, ensayos al agua empleada, ensayos en el cemento Pórtland
- *Diseño:* prueba de placa o de valor relativo de soporte, Modulo de ruptura.



***Equipo para equivalente de arena***



***Equipo para prueba Marshall***



## **LOCALIZACIÓN DE BANCOS DE PRÉSTAMO.**

El banco de materiales debe reunir ciertas características, de calidad y de economía. Pueden ser de diversa índole, pero siempre habrá de procurarse que reúnan lo siguiente.

- Tener material de buena calidad en cantidad suficiente (mínimo 10 000m<sup>3</sup>) para ser comercialmente explotable.
- Estar cercano a la obra y tener un fácil acceso.
- Que al material extraído se le realice un tratamiento mínimo.
- Que no exista necesidad de obras complementarias

Para ubicar un probable banco de préstamo se deberá tomar en cuenta lo siguiente:

- Determinar la naturaleza del depósito.
- Su profundidad, espesor, la extensión y la composición.
- La situación del agua.
- Que no presente problemas de tipo legal.

La diferencia entre el estudio preliminar y el definitivo radica en el número de sondeos, el número de muestras dependerá de las características de homogeneidad y cantidad de material de banco.



## FRECUENCIA DE SONDEO PARA VERIFICAR MATERIALES EN LOS BANCOS DE PRÉSTAMO

Cuerpo de terraplén. De 1 a 10 muestras por cada 1000m<sup>3</sup>. Dependiendo de la uniformidad del material

Subyacente: Una muestra por cada 400m<sup>3</sup>

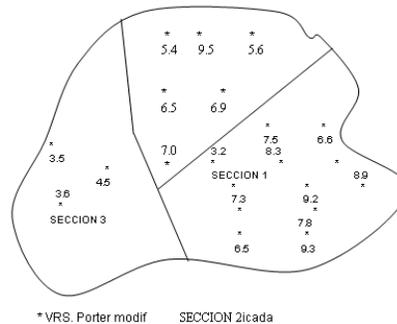
Sub- rasante. Una muestra por cada 200m<sup>3</sup>

Sub- base y base: una muestra por cada 200m<sup>3</sup>

Carpeta asfáltica: una muestra por cada 50m<sup>3</sup>

Carpeta de riegos: una muestra por cada 20-50m<sup>3</sup>. Según la uniformidad del material.

### Zonificación de un banco de préstamo de materiales







## ESTABILIZACIONES

La estabilización de un producto es la incorporación de un determinado elemento a los materiales seleccionados en la construcción de un pavimento, para modificarle algunas características del elemento y con esto mejorar su comportamiento, esto puede realizarse mediante la adición de un producto químico, empleando un método físico ó bien de manera mecánica.

Los materiales que requieren mejorarse son aquellos que no cumplen con alguno de los requisitos de calidad establecidos en las normas o bien que por razones estructurales, requieran la incorporación de un producto que modifique algunas de sus características físicas

### *Físicos:*

- Consolidación previa (suelos arcillosos)
- Mezclas de suelos (cuando requieren de algún diámetro faltante dentro de su granulometría)
- Geotextil (provocan mayor resistencia, sirven como capas rompedoras de presión)
- Vibro flotación (empleada en pequeñas áreas en materiales arenosos)
- Drenaje y sub drenaje (en suelos saturados drenes de penetración, sobre todo en temporada de lluvias y para evitar agua capilar)

### *Químicos:*

- Cloruro de calcio o de sodio (evita polvos en las terracerías)
- Empleo de cal (utilizada en material arcilloso disminuye la plasticidad e incrementa la resistencia)
- Cemento Pórtland (en materiales granulares, como la arena aumenta la cementación provocando mayor resistencia y en suelos plásticos les disminuye esta característica)
- Asfalto o emulsión (en materiales triturados aumenta su cohesión)
- Polímeros (en carpetas asfálticas, provoca mayor durabilidad y resistencia)

### *Mecánicos:*

- La compactación es la manera más común de mejorar los suelos y otras capas del camino. además de la consolidación previa.



## ALGUNAS MANERAS DE MODIFICAR LOS MATERIALES

- **Materiales modificados con cal.** Cuando se les incorpora de dos a tres por ciento de cal, para modificar la plasticidad o reducir el efecto de la materia orgánica.
- **Materiales mejorados con cemento:** cuando se les adiciona de tres a cuatro por ciento en peso de cemento Pórtland, para modificar su plasticidad o incrementar su resistencia.
- **Estabilizados con cemento:** Si se le adiciona de ocho a diez por ciento de cemento Pórtland, para obtener una resistencia a la compresión simple a los veintiocho días no menor de 25 Kg./cm<sup>2</sup>, incrementando su rigidez.
- **estabilizados con asfalto:** cuando se les incorpora de tres a cuatro por ciento de asfalto por medio de un rebajado o emulsión asfáltica, para mejorar su comportamiento y plasticidad.
- **Base de mezcla asfáltica (base negra):** adicionándole de cuatro a cinco por ciento con respecto a su masa, de cemento asfáltico, formando una capa de concreto asfáltico pobre.
- **Base de concreto hidráulico de baja resistencia:** empleando cemento Pórtland en una cantidad necesaria, para alcanzar a los 28 días una resistencia de 150kg/cm<sup>2</sup>. a 200 kg. /cm<sup>2</sup>.

Los elementos mejorados con cal y con cemento Pórtland, cumplirán con los requisitos de características de los materiales para bases hidráulicas.

### ESTABILIZACIÓN CON CAL

Es un método que se emplea en materiales con alta plasticidad y por consecuencia con baja resistencia, factor de gran importancia en las sub bases y en las bases de un pavimento.

Este producto por su costo resulta muy económico, los porcentajes por agregar varían del 2 al 6% en peso con respecto del suelo seco por mejorar, con esto se logra neutralizar la actividad de las arcillas, obteniéndose un descenso en el índice plástico (I. P.) y un aumento a la resistencia substancial.



Se recomienda no emplear más del 6% pues con esto puede incrementar la resistencia, pero también se aumenta la plasticidad. Para conocer los valores adecuados se deberán efectuar ensayos y sus gráficas correspondientes.

**Las pruebas en materiales estabilizados con cemento Portland de tipo flexible, cal hidratada, puzolanas, cloruro de sodio y de calcio se efectuarán de la siguiente manera:**

Se realizan para diseñar y verificar después de ser curadas las muestras convenientemente se les efectúa lo siguiente.

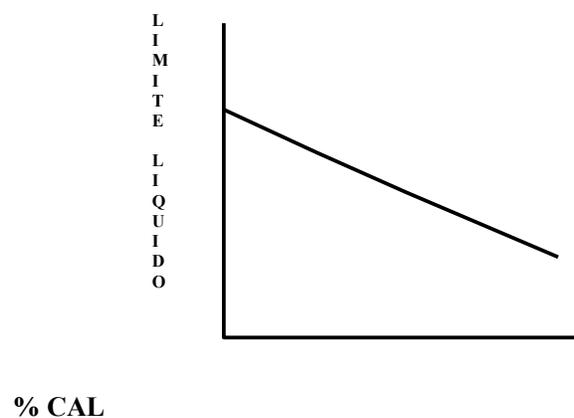
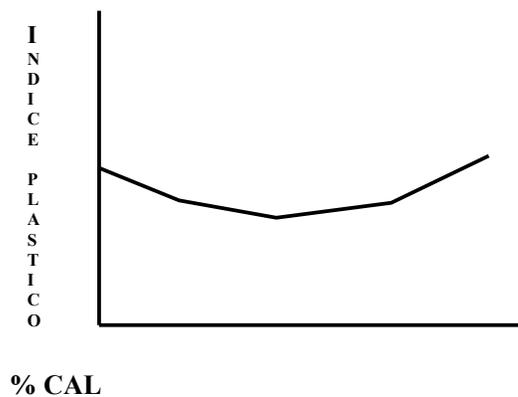
Se criba el material por mejorar a través de las mallas N° 4 y 40 para separarlo en tres fracciones la retenida en la malla N° 4 la que pasa esta y se retiene en la 40 y la que pasa dicha malla. Se mezcla el material con el estabilizante en una proporción que generalmente puede variar de 1% a 4% con respecto al peso del suelo seco y se va incrementando de 0.5% a 1.0 % según se estime dejando una muestra testigo sin mejorar.

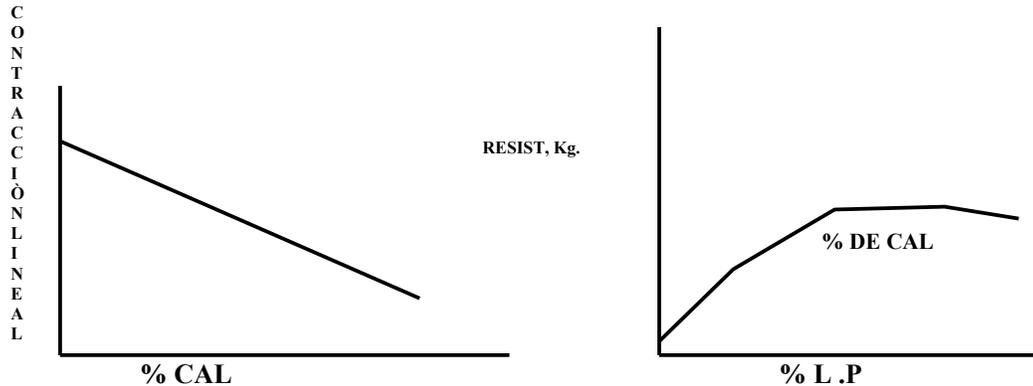
Se homogenizan una vez al día durante el periodo de curado, con el fin de evitar grumos y se debe procurar que la humedad permanezca constante. El periodo de curado puede variar de 3 a 7 días con cemento Portland o de 7 a 28 con puzolanas y en la cal pueden ser de 3 horas, 24 horas, 15 días, 1 mes, 3 a 9 meses según se requiera.

**Las pruebas que se les realicen serán las siguientes:**

- Composición granulométrica
- Límites de plasticidad y contracción lineal
- Equivalente de arena
- Índice de resistencia (valor relativo de soporte o compresión simple).

**SE REALIZAN GRÁFICAS PARA DETERMINAR CUÁL ES EL PORCENTAJE ÓPTIMO REQUERIDO:**





**NOTA:**

- Se recomienda que el porcentaje de cal adicionado no exceda del 6% ya que tiende a incrementarse la resistencia pero en muy baja proporción, aumentando la plasticidad siendo esto último lo que se trata de evitar al adicionarle la cal.
- Las gráficas se obtendrán de acuerdo al tipo de suelo y al estabilizante, las mostradas son de un suelo en particular y no se tienen las mismas gráficas en todos los materiales pues su comportamiento cambia.

**PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO EMPLEANDO CAL.**

Las especificaciones que marca la S.C.T. (*Secretaría De Comunicaciones Transportes*) para materiales mezclados con cal, puzolanas o cemento Pórtland del tipo flexible , puede ser el siguiente: la capa inferior a la que va a mejorarse deberá estar totalmente terminada , el suelo por estabilizar se disgrega y pulveriza, enseguida se esparce la cal, usualmente con un rociador mecánico o un transportador de bultos, (en algunas ocasiones el material se coloca en bultos a determinada distancia y se mezcla con el suelo empleando la motoniveladora ) se agrega agua para que la humedad alcance 5% más que la óptima, se distribuye con un mezclador giratorio de velocidad . La mezcla suelo-cal se deja curar durante periodos de 1 a 7 días. La compactación se efectúa con rodillos neumáticos o con compactadores vibratorios y se deja que la capa compactada se cure durante otros 3 a 7 días antes de colocar la siguiente capa. En algunos proyectos se agrega cal al suelo en forma de lechada, siendo el procedimiento muy semejante al que se utiliza para el suelo-cemento.

**MEJORAMIENTOS CON CEMENTO PÓRTLAND.**



En este caso se tienen dos tipos de estabilización de los suelos, una que se conoce como estabilización de tipo flexible (**suelo mejorado**) y la otra de tipo rígido (**suelo-cemento**).

En el primer caso se mejora el suelo empleando únicamente la cantidad necesaria de cemento para neutralizar la plasticidad de las arcillas, la proporción empleada varía del 2% al 4 % de cemento con respecto del peso del suelo seco por mejorar.

En las de tipo rígido, además de corregir lo anterior, también le provoca una mayor resistencia al material, siendo la cantidad de cemento por adicionar de un 6 a un 14 % llegando en algunos casos al 20% dependiendo cual sea el objetivo de la estabilización. Es recomendable que las bases y las carpetas presenten un módulo de elasticidad semejante, por esta razón se mejoran, evitando con esto que las carpetas se agrieten prematuramente por los esfuerzos que tienen que soportar.

#### **PRUEBAS EN MATERIALES ESTABILIZADOS CON CEMENTO PÓRTLAND, ESTABILIZACIÓN DE TIPO RÍGIDO (SUELO-CEMENTO)**

Se preparan mezclas de prueba con diferente contenido de cemento, compactándolas dinámicamente( Proctór), para determinar su peso específico seco máximo y la humedad optima ; también se elaboran por el mismo procedimiento muestras para las pruebas de expansión y perdida por cepillado en ciclos de humedecimiento y secado, así como la prueba de resistencia a la compresión sin confinar. Se necesitan como mínimo 250Kg. De material.

Se determina el peso específico seco máximo y la humedad optima en mezclas de prueba para cada porcentaje de cemento Pórtland.

La determinación de la expansión y la perdida por cepillado, se llevara a cabo elaborando previamente para cada uno de los contenidos de cemento seleccionado dos especímenes de suelo-cemento con su humedad optima, los cuales una vez que se han endurecido se someten a 12 ciclos de humedecimiento y secado, para determinar la expansión en uno de los especímenes de cada grupo y en el otro % en peso de material que pierde al someterlo al cepillado.

*El equipo en general será el siguiente:*



Molde de 10 cm. De diámetro, cuarto húmedo, recipiente para saturar especímenes, cepillo de alambre, balanza de 20 Kg., vernier, prensa de tornillo.

Se compactan los especímenes y se marcan los 2 seleccionados en cada contenido de cemento, se pesa la muestra “A” y la “B” se determina su diámetro promedio y su altura promedio, se calcula su volumen y se meten en el cuarto húmedo durante un periodo de siete días, transcurrido el periodo de curado se sacan todos las muestras del cuarto húmedo, a los especímenes “A” de cada contenido de cemento se les determina su peso, diámetro y altura. Se colocan en el recipiente de saturación durante 5 horas, se sacan escurren y se vuelven a pesar para obtener su volumen; se colocan dentro del horno a una temperatura de 71° durante 42 horas. Se sacan del horno se pesan y se obtiene su volumen.

A los especímenes “B” se les da en toda superficie 2 pasadas con el cepillo de alambre aplicando una fuerza de 1.4 Kg.; estas dos pasadas se obtienen dando un total de 26 cepilladas aproximadamente, repartidas 4 en cada base y 18 en la superficie lateral.

Se repite en los especímenes A y B el proceso descrito hasta completar 12 ciclos. Después de esto se meten todas las muestras al horno a una temperatura de 105°C. hasta peso constante, se pesan y registran para contenido de cemento los pesos finales con aproximación de 1gr. Reportándose lo siguiente.

El cambio de volumen de las muestras “A”, restando del volumen inicial, los respectivos volúmenes determinados durante cada ciclo y se expresa como % de volumen inicial.

Se calculan los pesos iniciales en estado seco

$$W.A = \frac{\text{Peso.del.especimen}}{100 + w} * 100$$

Se obtiene el peso del agua retenida en los especímenes “A “

$$W.A.R = \frac{\text{Peso.final.del.Especimen} - \text{Peso.Inicial}}{\text{Peso.Inicial}} * 100$$

Se calculan los pesos corregidos de los especímenes “B”, en estado. Seco con la siguiente fórmula:



$$W.B.D.E = \frac{\text{Peso.final.de.la.Muestra."B"}}{100 + \text{Agua.Retenido."A"}} * 100$$

Se calcula la pérdida por cepillado.

$$\text{Pérdida.Por.Cepillado}(L) = \frac{\text{Peso.final.de."B"} - \text{Peso.Corregido.De"B".al.Final}}{\text{Peso.inicial.de"B"}} *$$

Se dibuja en un sistema de ejes coordenadas las gráficas peso volumétrico seco máximo - % de cemento, expansión % de cemento, pérdida por cepillado- % de cemento.

Se reporta W. Óptima y d máx. Para cada % de cemento.

Se reporta la expansión y el contenido máx. De agua que retienen los especímenes "A" para cada contenido de cemento.

Se reporta la pérdida por cepillado determinada en "B" para cada contenido de cemento.

Se indica el % mínimo de cemento que se requiere para el suelo entre sus especificaciones.

Se hacen especímenes para efectuar la prueba de resistencia a la compresión en cilindros de 1.27cm. De diámetro y 25.4cm de altura, esta prueba se efectúa a las edades de 3, 7 y 28 días.

El porcentaje de cemento adecuado es determinado de las pruebas de cepillado y expansión. Los especímenes se colocan en cuarto de curado, evitando queden expuestos al goteo del agua. Se calculan el área promedio de los especímenes, se colocan en la máquina de compresión se aplica carga hasta que fallen.

$$\text{Resistencia.a.la.Compresión}(RC) = \frac{\text{Carga}}{\text{Area}}$$

Se calcula la resistencia promedio de cada grupo de especímenes de igual edad y contenido de cemento en Kg. /cm<sup>2</sup>.

Se dibujan las gráficas de resistencia a compresión – edad para cada % de cemento y las gráficas de resistencia a la compresión- contenido de cemento en peso. Se reporta lo siguiente, el % mínimo de cemento en peso, la humedad y el peso específico seco máximo.

**Procedimiento constructivo:** los pasos básicos en la construcción de suelo-cemento, suponiendo que la capa inferior no requiere de tratamientos o se ha logrado la condición deseada puede enlistarse en lo siguiente.

- pulverización del suelo que se utilizara.
- distribución de la cantidad de cemento requerida a la mezcla suelo-cemento.
- adición de la cantidad de agua requerida e incorporación al suelo.
- compactación minuciosa, incluyendo apisonado final y el acabado.
- curado de la base suelo-cemento una vez terminada.



El mezclado del material puede realizarse en una planta adecuada o bien en campo con la motoniveladora.

El pétreo y el cemento se mezclarán en la proporción adecuada para producir un concreto homogéneo con la resistencia a la compresión simple establecida y que en su estado fresco tenga un revenimiento de cero cm., siendo responsabilidad del contratista el proporcionamiento adecuado.

La pulverización puede realizarse con escarificadores de discos, arados de reja múltiple, etc. Si se llega a emplear el suelo existente, debe escarificarse a la profundidad deseada. La cantidad apropiada de cemento se distribuye sobre la superficie del suelo tanto en forma manual como por medios mecánicos. En trabajos pequeños, los sacos de cemento se distribuyen a lo largo de la superficie en filas y espacios predeterminados, después se esparce el cemento con una escarificadora dentada, debiéndose efectuar el mezclado en seco, se agrega el agua necesaria y esta con el suelo y el cemento se mezclan uniformemente para después compactarlo, en general la compactación inicial de una base de suelo-cemento se efectúa con rodillos pata de cabra, en los suelos muy arenosos no se compacta con este equipo se emplea rodillos de neumáticos, en suelos granulares se usan rodillos de acero incrementándose el uso de equipos de compactación con rodillos vibratorios, rejilla y rodillos segmentados.

La compactación final se efectúa con un rodillo de acero de 3 a 12 toneladas de peso, dependiendo del tipo de suelo, debiéndose mantener el contenido de humedad óptimo.

Se realiza el curado de la capa para evitar la rápida evaporación del agua, esto puede hacerse con agua o bien con algún producto químico adecuado.

El grado de compactación será al 100 % con respecto del peso volumétrico seco máximo obtenido mediante la prueba AASHTO Modificada. La compactación de una sección transversal cualquiera se terminará totalmente en menos de tres horas, desde el instante en que se haya iniciado la incorporación y mezcla del agua en el concreto.

En todo momento se mantendrá húmeda la superficie de la base mediante riegos de agua finamente pulverizada, hasta la colocación de la membrana de curado.

Una vez compactada y curada la base, su resistencia a la compresión simple a los 28 días de edad debe ser la adecuada.

Se recomienda no efectuar el mejoramiento cuando amenace lluvia, cuando la temperatura ambiente sea menor a 5° centígrados o bien cuando exista mucho viento, no deberán abrirse al tránsito inmediatamente y de preferencia se recomienda que tan pronto como se termine la base de suelo-cemento, se coloque una superficie de rodamiento adecuado.



### REQUISITOS DE CÁLIDA DE MATERIALES PARA BASES

<i>Suelos</i>	<b>PROBLEMAS TÍPICOS Y POSIBILIDADES DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS COMUNES.</b>
	PROBLEMAS Y MEDIOS DE MEJORAMIENTO USUALES
Suelos arenosos	Cuando la granulometría es uniforme, puede convenir la mezcla de suelos. Las arenas limpias, pueden mejorar sus características con cemento y asfaltos.
Limos con arcilla	El único tratamiento económico y recomendable es la compactación.
Limos con poca arcilla	No existen tratamientos económicos, cuando la superficie está expuesta, se recomienda agregar cloruro de calcio o de sodio.
Arcillas agrietadas	Que respondan al tratamiento con cal.

### RESISTENCIA CONCRETO HIDRÁULICO

Características	Valor %
Índice plástico máximo.	NP
Equivalente de arena mínimo.	50
Desgaste de los Ángeles máximos.	30

### GRANULOMETRÍA PARA BASES DE CONCRETO HIDRÁULICO MAGRO O BAJA RESISTENCIA

Malla		Porcentaje que pasa
Abertura mm	Designación	
25	1"	100
19	3/4	88-100
9,5	3/8	59-90
4,75	N° 4	41-72
2	N° 10	29-58
0,85	N° 20	23-45
0,425	N°40	18-36
0,25	N°60	16-30
0,15	N°100	14-25
0,075	N°200	12-18



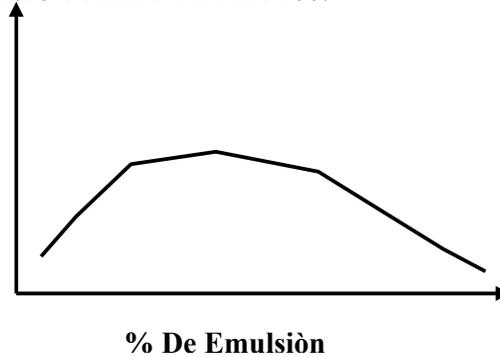
### MEJORAMIENTO CON PRODUCTOS ASFÁLTICOS.

El material asfáltico que se emplea para mejorar un suelo puede ser el cemento asfáltico o bien las emulsiones asfálticas, el primero es el último residuo de la destilación del petróleo para eliminarle los solventes volátiles y los aceites.

En las estabilizaciones, las emulsiones asfálticas son las más usadas ya que este tipo de productos resultan más adaptables y no se necesitan altas temperaturas para hacerlo manejable, en este tipo de productos se encuentra en suspensión el asfalto con el agua, se emplea un emulsificante que puede ser el sodio o el cloro, para darle una cierta carga a las partículas y con ello evitar que se unan dentro de la emulsión; cuando se emplea sodio, se tiene lo que se conoce como emulsión **aniónica** con carga negativa y las que tienen cloro son las emulsiones **catiónicas** que presentan una carga positiva, siendo estas últimas las que presentan una mejor resistencia a la humedad. Se tienen emulsiones de rompimiento **lento, medio y rápido**, de acuerdo al porcentaje de cemento asfáltico que presentan. Una emulsión asfáltica es una dispersión de asfalto en agua en forma de pequeñas partículas de diámetro de entre 3 y 9 micras.

Este tipo de aglutinantes puede usarse casi con cualquier tipo de material aunque por economía se recomienda se emplee en suelos gruesos o en materiales triturados que no presenten un alto índice de plasticidad, puede emplearse también con las arcillas pero solo le procura impermeabilidad, resultando un método muy costoso, además con otros productos se logra mayor eficiencia y menor costo para los suelos plásticos. Es importante que el material pétreo que se va a mejorar, presente cierta rugosidad para que exista un anclaje adecuado con la película asfáltica, situación que se agrava si el material pétreo no es afin en cuanto a carga eléctrica con el producto asfáltico. Algunos productos asfálticos contienen agua (emulsiones) y si esto no se toma en cuenta se pueden presentar problemas muy serios al momento de compactar, la prueba que más comúnmente se emplea en el laboratorio para determinar el porcentaje adecuado de asfalto a utilizar se conoce como "**prueba de valor soporte florida modificada**" y el procedimiento consiste en elaborar especímenes de pétreos que presentan cierta humedad usando diferentes porcentajes de asfalto, se compactan con una carga estática de 11340Kg. (140 Kg./cm<sup>2</sup>), después de esto se pesan y se meten a curar al horno a una temperatura de 60°C, se sacan y se les aplica carga hasta la falla o bien hasta que el vástago penetre hasta una profundidad de 6.35mm registrándose la carga máxima en Kg., se efectúa una gráfica para obtener el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica y se recomienda que el material por mejorar presente un equivalente de arena mayor de 40% también pueden efectuarse la prueba Marshall, Hveem y compresión simple.

EL PORCENTAJE DE EMULSIÓN VARÍA DE 1 EN 1%.



Los materiales mejorados con asfalto deben cumplir con los requisitos de calidad de materiales para bases hidráulicas además de lo siguiente: tendrán un desprendimiento por fricción menor de 25% y un cubrimiento con asfalto mínimo de 90%, no deberán tener un contenido de materia orgánica mayor a 3 %.

Características	Valor
Estabilidad; kg., mínimo	180
Expansión % máximo	2
Absorción % máximo	5

Los materiales que se usen en la construcción de bases negras deben cumplir con los siguientes requisitos:

- El asfalto cumplirá con la calidad establecida en normas.
- El pétreo tendrá las características marcadas en la siguiente tabla, en función del tránsito de 8,2 toneladas esperada en su vida útil.



**REQUISITOS DE GRANULOMETRÍA DE PÉTREO PARA BASES NEGRAS**

Malla		Porcentaje que pasa	
Abertura mm	Designación	$\Sigma L \leq 10$	$\Sigma L > 10$
37,5	1½"	100	100
25	1"	90-100	90-100
19	¾"	76-100	76-100
9,5	⅜"	42-100	42-100
4,75	Nº 4	24-100	24-70
2	Nº 10	10-90	10-27
0,85	Nº 20	5-65	5-14
0,425	Nº 60	2-35	2-8
0,25	Nº 100	1-25	1-7
0,075	Nº 200	0-15	0-6

**REQUISITOS DE CALIDAD PÉTREO DE BASES NEGRAS**

Características	Valor %	
	$\Sigma L \leq 10$	$\Sigma L > 10$
Limite líquido máx.	30	25
Índice plástico máx.	6	6
Contenido de agua máx.	1	1
Equivalente de arena min.	40	50
Forma de la partícula máx.	30	30
Desgaste Los Ángeles máx.	30	30
Perdida de estabilidad por inmersión en agua máx.	25	25

**REQUISITOS DE CALIDAD PARA BASES NEGRAS POR MÉTODO MARSHALL**

Características	Valor	
	$\Sigma L \leq 10$	$\Sigma L > 10$
Numero de golpes por cara	50	75
Estabilidad; n (lb.) min.	4 410 (990)	6 860 (1 540)
Flujo; mm (10 in)	2-4,5 (8-18)	2-4 (8-16)
Vacios en mezcla %	3-8	3-8



**EL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO SE DESARROLLA DE LA MANERA SIGUIENTE:**

- La capa a mejorar ya tiene que estar completamente terminada.
- La mezcla de asfalto con el suelo puede realizarse en una planta adecuada, sobre el eje del camino o en un lugar adecuado cercano, libre de polvo y vegetación
- Se acamellona el material y se abre con la motoniveladora en tres partes adicionándole el producto asfáltico en varias pasadas.
- Se homogeniza evitando la segregación de materiales y se extiende dando el espesor adecuado y se compacta con rodillo liso o de neumático que de preferencia tenga vibrador, hasta el grado de compactación que marque el proyecto.
- No se aplicaran materiales asfálticos cuando la temperatura ambiente sea menor a 5°C cuando este lloviendo, exista amenaza de lluvia o bien cuando la velocidad del viento impida la aplicación de la petrolizadora.
- La emulsión asfáltica será de rompimiento medio o lento y cuando se utilice asfalto rebajado será de fraguado rápido la temperatura de aplicación de las emulsiones será de 5 a 40 °C y en los rebajados de 60 a 80 °C
- Las temperaturas mínimas para el tendido y compactación serán determinadas mediante la curva viscosidad temperatura.
- Se compactara como mínimo al 95% de su masa volumétrica máxima obtenida de la prueba Marshall.

Nota: No hacer la estabilización con mucho viento, ni con temperaturas menores de 5° C o cuando amenace lluvia. También se puede estabilizar con ácido fosfórico y fosfatos; fosfato de calcio (yeso), resinas y polímeros estos ultimas en las carpetas.

NOTA: El grado de compactación será del 100% respecto a la prueba de **AASHTO Modificada**.

***Cloruro de sodio y de calcio***

Se emplea como estabilizante de acción no muy durable o como ayuda en la superficie para evitar los polvos, ayuda a preparar la capa de rodamiento para una futura pavimentación, el peso volumétrico permanece constante, los caminos tratados requieren menos recarga de material que un camino revestido.

**PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO EMPLEANDO CLORURO DE CALCIO:**

El esparcimiento del cloruro se puede realizar por medio de maquinaria agrícola mezclándolo con el terreno, se recomienda realizar esto al declinar el día, se homogeniza y se extiende dándole el espesor adecuado para después compactarlo. Para la conservación de un camino estable debe aplicarse el producto cuando menos una vez al año y de preferencia después de la época de lluvias.



### GEOTEXTILES

Son telas permeables que combinados con otros materiales geotécnicos se emplean como elementos de distribución de cargas, para evitar la contaminación, la filtración o bien como soporte temporal. Son ejemplos importantes sus aplicaciones en las vías terrestres como refuerzo de tierras y pavimentos, estabilización de suelos, filtración para proteger taludes y cortes contra la erosión, el efecto membrana, el refuerzo local, junto con el efecto de separación, permiten ahorrar espesores de terracerías y agregados para construir las vías terrestres sobre suelos inestables, reduciendo el volumen de incrustación de los materiales dentro de la cimentación o impidiendo la contaminación de los materiales de banco.

Las principales experiencias con Geotextil en nuestro país (México), desde 1978, han sido el desplante de terraplenes sobre suelos blandos y pantanosos.

***Algunas de las aplicaciones de un geotextil en superficies pavimentadas serian:*** entre el terreno natural blando y capas de pavimento de superficies de concreto asfáltico de carreteras, estacionamientos y aeropuertos. Sobre superficies deterioradas de concreto hidráulico y carpetas asfálticas en colocación de sobres carpetas asfálticas.

***En superficies no pavimentadas:*** se colocan entre el terreno natural blando y base de caminos no pavimentados.

***En general:*** como filtro envolvente en sub drenes, para eliminación de presencia de agua en las capas de caminos.

***Capa de rompimiento:*** capilaridad entre el terreno y capas de camino para evitar humedecimiento de la estructura del pavimento.

### PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO EN GEOTEXTILES EMPLEADOS EN SUELOS BLANDOS:

- Despalme y limpieza del área, nivelación del terreno, compactar con equipo ligero, afinar y rellenar oquedades en terreno
- Aplicación directa de geotextil sobre superficie sin que existan arrugas, uniendo de manera adecuada de acuerdo a las especificaciones dar traslape adecuado
- En curvas, cortar o doblar y se une en vuelta (material antepuesto) dobleces fijarlos a cada 1.5m a centros.
- En empalmes de pavimentos existentes, fijarse el extremo del geotextil deben traslaparse adecuadamente.
- El Material de relleno se ubica adelante para que el equipo de construcción no tenga contacto con el geotextil
  - ◆ Primera capa de relleno no exceder de 30 cm. ni menor de 20 cm. de acuerdo a espesor diseñado.
  - ◆ En suelos muy blandos usar equipo ligero al compactar para evitar hundimientos de más de 7.5cm de profundidad
  - ◆ Ocupar rodillos lisos y si es necesario vibración

- En terrenos muy blandos donde el geotextil librerá función de esfuerzo, se debe tomar en cuenta pretensionar el material, se transita con un vehículo pesado y se dan 4 pasadas.
- En baches o deformaciones del terreno durante la construcción, se deben reparar para obtener una superficie con una nivelación apropiada



*Geotextil empleado sobre terreno natural*

### GEOTEXTILES USADOS EN SOBRE CARPETAS ASFÁLTICAS

El geotextil pueden aplicarse sobre pavimentos deteriorados de concreto hidráulico o asfáltico en colocación de sobre carpetas asfálticas.

#### *Funciones del Geotextil*

**Impermeabilización:** al ser impregnado con asfalto forma una barrera impermeable que protege de la humedad a la estructura del pavimento subyacente evitando así el ablandamiento de la base portante y posterior degradación del pavimento.

**Refuerzo:** al evitar que las grietas existentes en el pavimento deteriorado se reflejen en la sobre carpeta y para incrementar la resistencia a la fatiga del pavimento evitando grietas.

#### *Beneficios*

- Aumenta la vida útil del pavimento.
- Disminuye los costos de mantenimiento.
- Incrementa el tiempo con condiciones satisfactorias de servicio del pavimento.



#### **INSTALACIÓN DE GEOTEXTIL EN SOBRE CARPETAS ASFÁLTICAS:**

- ▶ Evaluar la condición del pavimento actual con viga Benkelman, Dynaflect, prueba de placa o visualmente.
- ▶ Reparar zonas de falla estructural posible. Rellenar baches, reparar con calafateo, grietas mayores a 5mm.
- ▶ El espesor de la sobre carpeta deberá ser el adecuado para asegurar una vida útil razonable.
- ▶ Aplicar suficiente riego de asfalto en la superficie deteriorada, para asegurar que el geotextil quede totalmente impregnado de asfalto, los traslapes son de 5 a 10cms. No debe presentar arrugas pudiendo usar cepillos rígidos para extender el material.
- ▶ La temperatura de la mezcla asfáltica deberá ser menor que 150°C. para evitar fundir el geotextil.





### ASFALTOS Y PRODUCTOS ASFÁLTICOS.

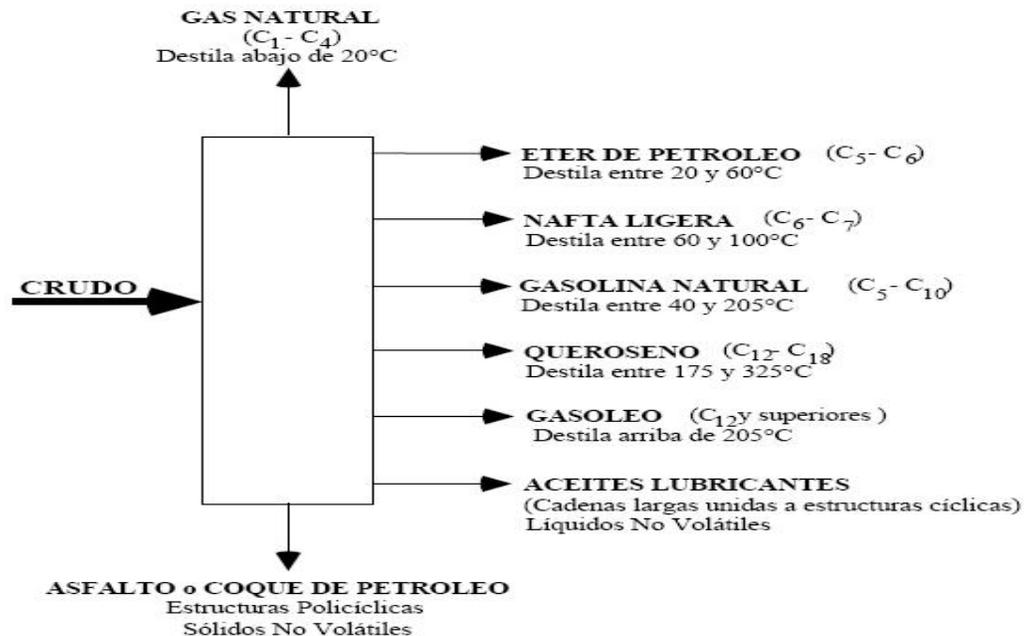
Se tienen dos tipos de asfaltos: los naturales que provienen de la descomposición de productos animales y vegetales, que los podemos encontrar en lagos, manantiales, etc., pero los **asfaltos** que se emplean más comúnmente se originan del último residuo de la destilación del petróleo y resultan los más comerciales.

Además del asfalto se tienen las **emulsiones asfálticas** que son una mezcla de glóbulos de asfalto y agua para poder emplear este producto a menores temperaturas ya que en algunas ocasiones no se cuenta con plantas adecuadas cercanas a la obra para efectuar el proceso de ablandamiento del asfalto y que se emplean en muchos de los riegos que se requieren en un pavimento.

Los **asfaltos rebajados** que son una dilución de algún solvente (gasolina o queroseno) en cemento asfáltico para hacer manejable este último a temperaturas de 60° a 80° C, que se emplean para el riego de impregnación y la fabricación de mezclas asfálticas en frío.

Los **asfaltos modificados** con polímeros principalmente son la última innovación tecnológica para carpetas asfálticas de mejor calidad.

### PROCESO DE DESTILACIÓN DEL PETRÓLEO CRUDO





El asfalto está compuesto principalmente de tres elementos

- Los asfáltenos, que le dan sus características de dureza y resistencia.
- Las resinas le proporcionan sus propiedades cementantes y adhesivas.
- Los aceites le dan consistencia adecuada para hacerlos maniobrables y protegen a los dos primeros de la oxidación e intemperie, disminuyendo además los efectos perjudiciales por los procesos de calentamiento que se emplean en las plantas para la producción del concreto asfáltico.

### PROPIEDADES FÍSICAS DEL CEMENTO ASFÁLTICO.

Las de mayor importancia para el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras son: durabilidad, adhesión, susceptibilidad a la temperatura, envejecimiento y endurecimiento.

#### **DURABILIDAD**

Es la medida de que tanto puede retener un asfalto sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento (circulación de vehículos e intemperie)

#### **ADHESIÓN Y COHESIÓN**

La primera es la capacidad que presenta para adherirse al pétreo y la cohesión es la función que presentan de mantenerse firmes en sus características (eso lo podemos medir con la prueba de ductilidad)

#### **SUSCEPTIBILIDAD A LA TEMPERATURA**

Todos los asfaltos son termoplásticos, esto significa que se vuelven más duros a menor temperatura y viceversa a mayor temperatura (menos viscosos). Esto resulta importante ya que ayuda a conocer las temperaturas a las que son manejables y tener un mezclado adecuado.

#### **ENDURECIMIENTO Y ENVEJECIMIENTO.**

El endurecimiento es causado por el proceso de oxidación (el asfalto combinándose con el oxígeno), el cual ocurre más fácilmente en altas temperaturas y en películas delgadas de asfalto. No todos los asfaltos endurecen a la misma velocidad cuando son calentados en películas delgadas, para poder determinar sus características de envejecimiento cada asfalto debe ensayarse por separado y así poder ajustar las técnicas constructivas.

El endurecimiento y envejecimiento del asfalto continúa en el camino después de la construcción. Siendo las causas principales la oxidación y la polimerización (ambas características las podemos analizar en la prueba de película delgada).



### CONSIDERACIONES

En la actualidad los asfaltos se clasifican de acuerdo con normas de grado viscosidad semejante a las que manejan los EE.UU. desde 1992. Pero anteriormente en México se manejaba el grado penetración, el cual nos indicaba la dureza de los materiales teniéndose entonces los cementos asfálticos de 0, 6 y 10 siendo el que principalmente producía PEMEX el de penetración media (seis) que era el que se empleaba en la mayor parte de la República.

En México para la construcción de carpetas y otros trabajos de pavimentación se cuenta con cuatro productos asfálticos principalmente. El cemento asfáltico, los asfaltos modificados, las emulsiones asfálticas y los asfaltos rebajados.

**El asfalto** es un material bituminoso, sólido o semisólido con propiedades aglutinantes y que se licua gradualmente al calentarse. En nuestro país se emplea para construir carpetas desde 1920, y con la entrada a México del tratado de libre comercio se tuvieron que adecuar las normas mexicanas a las de la **A.S.T.M.** (American Standard Test Materiales) y a las especificaciones de la **S.H.R.P.** (Programa Estratégico de Investigación de Carreteras) de los Estados Unidos de América.

De ese tiempo a la fecha los materiales asfálticos se clasifican de acuerdo a la viscosidad- dinámica absoluta que presentan y algunas otras pruebas que nos marcan las normas actuales de la S.C.T.

**EN ESTE CASO Y DE ACUERDO AL TIPO DE CLIMA SE RECOMIENDA EMPLEAR LOS SIGUIENTES PRODUCTOS.**

Asfaltos	Región Recomendada
AC-5	Para elaborar emulsiones y concretos asfálticos que se utilice en las zona de la sierra madre occidental, Durango, Chihuahua y en algunas regiones altas del Estado de México, Puebla, Morelos, Tlaxcala y Chiapas.
AC-10	Sustituyo al CA6 y es el que mayormente produce PEMEX se recomienda emplearlo en la región central y altiplano de la república
AC-20	El cual ya se produce en pequeña escala en algunas refinerías se debe de emplear en él SE. Y las regiones costeras del golfo y del pacifico, inclusive Sinaloa y B.C.S.
AC-30	Para la región N y NW. Excluido Tamaulipas.

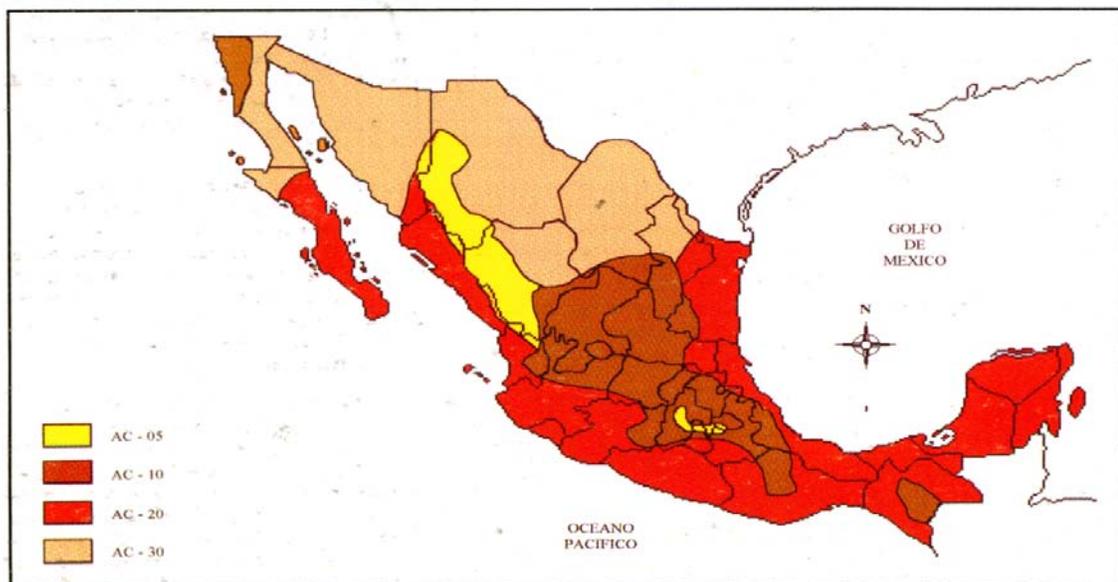
Nota ver mapa anexo.

En algunos lugares se produce el asfalto espumado, esto se logra agregando agua fría en pequeñas proporciones al asfalto calientes esta espuma posee como principal característica una baja viscosidad y un gran aumento de volumen.

Este asfalto incrementa la resistencia y reduce la susceptibilidad a la humedad de los materiales granulares. Las características de resistencia de las mezclas de asfalto espumado son semejantes a los del material cementado, pero con la diferencia que con asfalto espumado trabajan como pavimento flexible por resistente a la fatiga.

Las emulsiones ofrecen ciertas ventajas en la construcción, especialmente cuando se emplean con agregados húmedos ó en clima húmedo, las emulsiones no requieren de un disolvente para diluirla y generalmente se pueden emplear sin calor adicional, por esto las emulsiones aprovechan mejor la energía son menos costosas que los rebajados, por consecuencia dichos materiales han substituido a los rebajados en muchas zonas debido a consideraciones de conservación de energía, contaminación ambiental y economía en la construcción.

### REGIONALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS ASFALTOS EN LA REPÚBLICA MEXICANA



Esta condición se basa en cuestiones climáticas y no incluye otras variables importantes, como el tipo de agregado pétreo, la intensidad del tránsito, el agua y el TPDA, por lo que para realizar un concreto asfáltico de adecuada calidad deberá tomarse en cuenta lo siguiente: usar pétreos sanos, limpios y bien graduados, realizar un procedimiento constructivo adecuado aplicando las temperaturas recomendadas y de ser necesario aplicarle algún aditivo.



### **Refinación del asfalto**

Existen dos procesos por los cuales pueden ser producido un asfalto, después de que se han combinado los crudos de petróleo: destilación por vacío y extracción con solventes, la destilación por vacío consiste en separar el asfalto del crudo mediante la aplicación de calor y vacío. En el proceso de extracción con solvente, se remueven mas gasóleos del crudo, dejando así un asfalto residual.

Una vez procesados, estos pueden ser mezclados entre sí en ciertas producciones, para producir grados intermedios de asfalto. Es así como un asfalto muy viscoso y uno menos viscoso pueden ser combinados para producir un asfalto de viscosidad media.

En resumen para producir asfaltos con características específicas, se usara el crudo del petróleo o mezclas de crudos de petróleos. El asfalto es separado de las otras fracciones de crudo por medio de destilación por vacío o extracción con solventes.

El proceso consiste en separar los gases de menor peso como las gasolinas, los aceites y las grasas y lubricantes, para que al final quede como residuo el asfalto.

Los asfaltos que produce PEMEX de acuerdo a sus refineries son las siguientes:

- Refinería de Ciudad Madero, Tamaulipas, con producción de asfaltos AC-20 y AC-30, con los cuales cubre su área de influencia y exporta ambos asfaltos.
- Refinería de Salamanca, Guanajuato, que produce AC-20 y AC-5 para consumo nacional de la zona centro del país.
- Refinería de Salina Cruz, Oaxaca, que produce AC-20 para consumo del suroeste del país.
- Refinería de Cadereyta, Nuevo León, con producciones de AC-20 y AC-30 para el norte del país y exportación al sur de los Estados Unidos.
- Refinería de Tula, Hidalgo, que produce asfalto AC-20 para consumo del centro norte del país.

La **reología** es una de las propiedades más importantes del asfalto y se refiere a la variación de las propiedades del flujo a través del tiempo de aplicación de una carga e incluye una propiedad muy importante la viscosidad.

A temperaturas altas el asfalto se considera un fluido viscoso, mientras que el caso contrario se considera un material sólido con propiedades elásticas.



## ASFALTOS MODIFICADOS

La finalidad de modificar un asfalto se realiza principalmente para mejorar sus propiedades y con ello presente un mejor comportamiento a los cambio de clima y peso del tránsito, proporcionando una resistencia al envejecimiento prematuro y aumentando la capacidad de soporte, mejorando la elasticidad, flexibilidad, cohesión y viscosidad lo cual redundan en una mayor vida útil y la disminución de los espesores de las carpetas asfálticas.

Para modificar el cemento asfáltico la secretaria recomienda los siguientes productos, se puede mezclar con materiales tipo **SBS** (estireno-butadieno-estireno) con materiales tipo **SBR** (estireno-butadieno-hule) o bien un producto plastomero conocido como **EVA** (etil-vinil-acetato) productos termoplásticos, poliestirenos y podolefinas, hule molido de neumáticos, gilsonita o escoria de fundición para provocarle mayor dureza.

Los asfaltos modificados con polímeros elevan la vida útil de un pavimento de dos a tres veces y el costo adicional es de un 25% superior al de la mezcla asfáltica convencional. Está plenamente probado que los asfaltos tradicionales poseen propiedades satisfactorias tanto mecánicas como de adhesión en una amplia gama de aplicaciones y bajo distintas condiciones climáticas y de tránsito, sin embargo, el creciente incremento de volumen del tránsito y la magnitud de las cargas además de la necesidad de optimizar las inversiones provoca que en algunos casos las propiedades de los asfaltos convencionales resulten insuficientes. Por ejemplo, con los asfaltos sin modificar aun con los grados más duros, no es posible eliminar el problema de las deformaciones producidas por el tránsito canalizado (**ahuellamiento**), especialmente cuando se deben afrontar condiciones de alta temperatura. Además, con la simple adopción de asfaltos más duros se tienen el riesgo de fisuraciones por efectos térmicos cuando las temperaturas son muy bajas.

Con ciertas mezclas abiertas, alternativa generada por razones de confort y seguridad, con los ligantes convencionales no se alcanzaría una resistencia mecánica suficiente a causa de una escasa cohesión y adhesividad, lo que unido al bajo contenido de ligante de estas mezclas podría redundar en una disminución en su durabilidad, del mismo modo las nuevas capas superficiales delgadas serían menos durables cuando se vean sometidas a tránsitos muy intensos.

**Cuando un material asfáltico es modificado con hule SBS se tiene las siguientes mejoras.**

- Su recuperación elástica (aumenta su resistencia a las deformaciones permanentes provocadas por altas temperaturas y cargas pesadas y lentas).
- Mejora su resistencia a la fractura permanente, por bajas temperaturas o cambios bruscos en las cargas aplicadas.
- Mejora su resistencia a la fatiga
- No se reblandece con altas temperaturas
- A bajas temperaturas no se fracturas
- Reduce costos de mantenimiento, reduce el ruido.
- Reduce la formación de roderas.

Las deformaciones permanentes se presentan generalmente en los siguientes lugares.

- Zonas de climas cálidos
- Zonas de tránsito pesado.
- Zonas de parada.

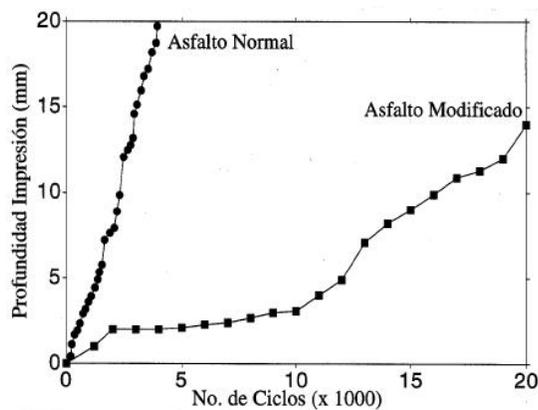
Las fracturas se presentan en:

- Zonas de climas gélidos.
- Zonas con cargas aplicadas rápidamente.

Cuando es conveniente modificar un asfalto con hule:

- El tiempo de recuperación de la inversión es importante.
- En carreteras de altas especificaciones.
- Reducir los gastos de mantenimiento
- Existen temperaturas extremas.
- En condiciones de tráfico intensas.

Las principales causas para el deterioro del asfalto son: el clima, la carga y el envejecimiento.



Cuando el asfalto no está modificado.-a los 4000 ciclos, la profundidad de la huella es ya de 20 mm. y para este mismo ciclo en asfalto modificado es de 2 mm.

### ASFALTOS REBAJADOS.

Estos productos dejaron de emplearse cuando entraron las especificaciones SHRP (1992) ya que se consideraba que el elemento para disolverlos (solvente) y hacerlos manejables en el proceso constructivo contaminaba el ambiente, los mantos freáticos y además quedaba atrapado entre las capas de material del pavimento, provocando algunas fallas en los mismos y necesitando además un gran consumo de energía (calentamiento de la mezcla asfalto-solvente). En la actualidad volvieron a emplearse, principalmente por que observaron que las emulsiones asfálticas empleadas sobre todo en los riegos de impregnación no penetraban en la base.

Los rebajados asfálticos se utilizan regularmente para elaborar carpetas de mezcla en frío, así como para las impregnaciones de bases y sub bases hidráulicas, son materiales asfálticos líquidos compuestos por cemento asfáltico y un solvente, clasificados según la velocidad de fraguado.



Clasificación	Velocidad de fraguado	Tipo de solvente
FR-3	Rápida	Nafta, gasolina
FM-1	Media	Queroseno

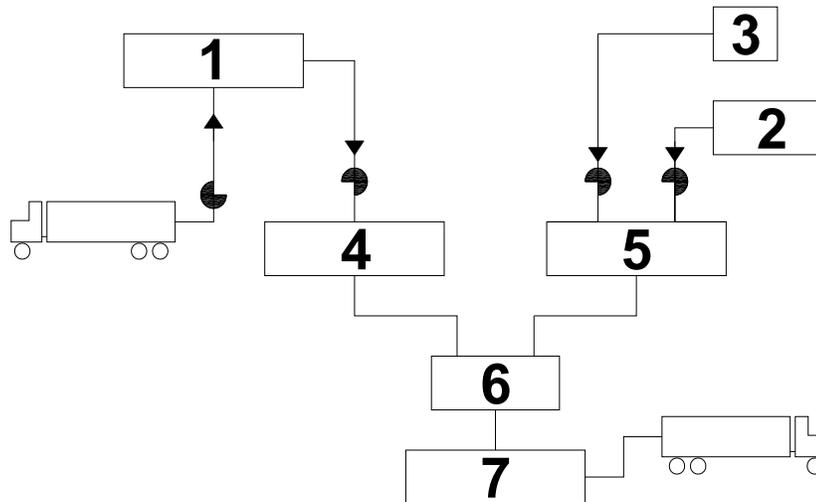
### **EMULSIONES ASFÁLTICAS**

Son asfaltos líquidos constituidos por dos fases no miscibles, la fase continúa está formada por agua y la discontinúa por pequeños glóbulos de cemento asfáltico, teniéndose **emulsiones aniónicas con carga negativa (-) y catiónicas con polaridad positiva (+)**.

Pueden ser de los siguientes tipos:

- De rompimiento rápido, que generalmente se utiliza para riegos de liga y carpetas por el sistema de riego, a excepción de la emulsión ECR-60, que no se debe utilizar en la elaboración de estas últimas.
- De rompimiento medio, empleadas para carpetas de mezclas en frío elaboradas en planta así como en trabajos de bacheo, re-nivelaciones y sobre carpetas.
- De rompimiento lento para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta y para estabilizaciones.
- Para impregnación de bases y sub bases hidráulicas.
- Súper-estables empleadas en estabilización y recuperación de pavimentos.

**Proceso de fabricación de una emulsión asfáltica:**



- |                                   |                                |
|-----------------------------------|--------------------------------|
| 1. Almacenamiento de ligante      | 5.-Dosificador de emulsionante |
| 2. Almacenamiento de agua         | 6.-Molino coloidal             |
| 3. Almacenamiento de emulsionante | 7.-Almacenaje de emulsión      |
| 4. Dosificador de ligante         |                                |

**Definiciones:**

- La emulsión asfáltica es un ligante versátil, económico, que no contamina y ahorra energía (pues no se requiere calentarla en exceso).
- Se usa en frío y con agregados incluso húmedos: No requiere maquinaria compleja.
- El ligante puesto en obra en forma de emulsión está activado y presenta por ello muy buena adherencia con cada tipo de pétreo.

El emulsionante facilita la dispersión inicial y evita que las partículas formadas vuelvan a unirse favoreciendo la adherencia del asfalto con los áridos.

Las emulsiones aniónicas (+) usan como emulsificante el sodio (Na) y las catiónicas (-) el cloro (Cl).

Cuando las partículas de asfalto dispersas vuelven a unirse, la emulsión ha roto.



Este rompimiento se debe al contacto con las superficies minerales de los agregados y/o a la evaporación.

Las emulsiones deben ser almacenables sin que sedimenten excesivamente las partículas de asfalto deben de tener la viscosidad adecuada para cada uso.

No deben de tener partículas superiores a un determinado tamaño que obstruyan filtros y tuberías.

Las emulsiones de rompimiento lento deben de poder mezclarse con un filler mineral sin romper.

### **PRINCIPALES PRUEBAS EN ASFALTOS:**

- **Densidad en cemento asfáltico:** su objetivo es determinar la relación entre el peso de un volumen dado de material a 25° Centígrados, este dato se utiliza para calcular volúmenes de asfalto y para la determinación del porcentaje de vacíos en mezclas asfálticas compactadas.
- **Solubilidad en tricloroetileno:** dicho ensaye se realiza para conocer el porcentaje de impurezas que contiene el asfalto.
- **Viscosidad dinámica a 60° C.:** determinar la consistencia de los asfaltos mediante sus características de flujo, es aplicable a materiales que tengan una viscosidad de 4,2 a 20 000 Pa.s (poises) **mediante este ensaye se clasifican actualmente los cementos asfálticos.**
- **Viscosidad cinemática a 135° C.** sirve para establecer la consistencia de los asfaltos mediante sus características de flujo, para cementos asfálticos que tengan una viscosidad de 30 a 1000 000 mm<sup>2</sup>/seg. (**Centistoke**)
- **Viscosidad Saybolt-Furol:** su objetivo es conocer la consistencia de los materiales asfálticos mediante su flujo a temperaturas de **135° C. para los cementos, de 25 y 50° C. para la emulsiones y de 50 y 60°C. Para asfaltos rebajados.** Se puede efectuar a otras temperaturas y de esta manera determinar cuál es la viscosidad adecuada para su empleo.
- **Penetración a 25°C. :** Con esto se puede determinar la consistencia de los cementos asfálticos, así como de los residuos por destilación de asfaltos y rebajados, se mide por la penetración vertical de una aguja, bajo condiciones de masa y tiempo establecidas.
- **Punto de inflamación Cleveland:** es una prueba de seguridad por la cual se conoce a que temperatura puede arder el producto asfáltico.
- **Punto de reblandecimiento:** por medio de este ensaye se puede estimar la consistencia de los cementos asfálticos y analizar a que temperaturas pueden ser manejables.
- **Pruebas en el residuo de la película delgada de cementos asfálticos:** sirve para determinar el endurecimiento que sufren los cementos asfálticos que en películas de pequeño espesor se someten a los efectos del calor y el aire.

- **Ductilidad:** es la capacidad que presenta un residuo asfáltico para deformarse sin romperse al aplicarle un estiramiento a 25° C.
- **Perdida por calentamiento %.** Nos indica el porcentaje en peso de material asfáltico que se pierde durante el proceso de calentamiento en la prueba de película delgada.



*Penetrómetro de asfaltos*



*Viscosímetro universal*

**REQUISITOS DE CALIDAD PARA CEMENTO ASFÁLTICO CLASIFICADO POR VISCOSIDAD DINÁMICA A 60°C.**

<i>Características</i>	<b>Clasificación</b>			
	<b>AC-5</b>	<b>AC-10</b>	<b>AC-20</b>	<b>AC-30</b>
<b>Del cemento asfáltico original</b>				
Viscosidad dinámica a 60°C Pa•S ( P <sup>[1]</sup> )	50 ± 10 (500 ± 100)	100 ± 20 (1000 ± 200)	200 ± 40 (2000 ± 400)	300 ± 60 (3000 ± 600)
Viscosidad cinemática a 135°C mm <sup>2</sup> /s, mínimo ( 1 mm <sup>2</sup> /s = 1 Centistoke )	175	250	300	350
Viscosidad Saybolt – furol a 135°C; s, mínimo	80	110	120	150
Penetración a 25° C, 100 g, 5 s; 10 <sup>-1</sup> mm, mínimo	140	80	60	50
Punto de inflamación Cleveland; °C, mínimo	177	219	232	232
Solubilidad; %, mínimo	99	99	99	99
Punto de reblandecimiento; °C	37 - 43	45 - 52	48 - 56	50 - 58
<b>Del residuo de la prueba de la película delgada:</b>				
Perdida por calentamiento, %, máximo	1	0,5	0,5	0,5
Viscosidad dinámica a 60 °C; Pa•S ( P <sup>[1]</sup> ), máximo	200 (2 000)	400 (4 000)	800 (8 000)	1200 (12 000)
Ductilidad a 25°C y 5 cm./min.; cm., mínimo	100	75	50	40
Penetración retenida a 25°C, %, mínimo	46	50	54	58



**REQUISITOS DE CALIDAD Y PRUEBAS PARA EMULSIONES ASFALTICAS ANIONICAS**

- **Contenido de cemento asfáltico en masa %:** se efectúa una **destilación** y por medio de esta se conoce el porcentaje de asfalto, agua y emulsificante que contiene el producto asfáltico.
- **Viscosidad Saybolt-Furol.** Analizada anteriormente.
- **Asentamiento en 5 días:** con este proceso se puede determinar el grado de homogeneidad que conservan las emulsiones asfálticas aniónicas y catiónicas, después de haber sido almacenadas durante periodos prolongados.
- **Retenido en la malla N° 20.** Con esto se puede cuantificar el asfalto de una emulsión que se retiene en la malla No 20, cuando contiene glóbulos de asfalto relativamente grandes y con esto evaluar la uniformidad de la emulsión.
- **Pasa malla N° 20 y se retiene en la N° 60.** Mismo caso que la anterior.
- **Cubrimiento del agregado pétreo.** Con esta prueba se puede determinar la *estabilidad* de las emulsiones durante el proceso de elaboración de las mezclas asfálticas, relacionándola con la facilidad de incorporación de la emulsión al material pétreo.
- **Cubrimiento del agregado en húmedo:** mismo objetivo que la anterior.
- **Miscibilidad con cemento Pórtland:** en base a este ensaye se puede estimar la estabilidad de las emulsiones asfálticas de rompimiento lento al mezclarse con un material fino.
- **Carga eléctrica de la partícula:** ayuda a determinar la polaridad eléctrica de los glóbulos de asfalto en las emulsiones y en base a esto clasificarlas como aniónicas y catiónicas.
- **Demulsibilidad:** esta prueba permite estimar la facilidad con que rompen las emulsiones asfálticas, con el propósito de determinar el tiempo disponible para incorporar la emulsión durante la elaboración de las mezclas asfálticas.
- Además al residuo de la destilación se le deben efectuar ensayos de viscosidad dinámica, penetración, solubilidad y ductilidad.

**REQUISITOS DE CALIDAD PARA EMULSIONES ASFÁLTICAS ANIÓNICAS**

Características	Clasificación						
	EAR-55	EAR-60	EAR-60	EAR-65	EAR-55	EAR-60	EAR-60
<b>De la emulsión</b>							
Contenido de cemento asfáltico en masa, %, mínimo	55	60	60	65	55	60	60
Viscosidad Saybolt-Furol a 25°C; s, mínimo	5	-	-	-	20	20	5
Viscosidad Saybolt-Furol a 50; s, mínimo	-	40	50	25	-	-	-
Asentamiento en 5 días; diferencia en %, máximo	5	5	5	5	5	5	5
Retenido en malla N°20							



en la prueba de tamiz; %, máximo	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Pasa malla N°20 y se retiene en malla N°60 en la prueba de tamiz, %, máximo	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Cubrimiento del agregado seco; %, mínimo-	-	-	90	90	90	90	-
Cubrimiento del agregado húmedo; %,mínimo	-	-	75	75	75	75	-
Miscibilidad con cemento Pórtland; %, máximo	-	-	-	-	2	2	-
Carga eléctrica de las partículas	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Demulsibilidad; %	60 min.	50 min.	30 máx.	30 máx.	-	-	-
<b>Del residuo de la destilación</b>							
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa·S ( P <sup>11</sup> )	50 ± 10 (500 ± 100)	100 ± 20 (1000 ± 200)	50 ± 10 (500 ± 100)	100 ± 20 (1000 ± 200)	50 ± 10 (500 ± 100)	100 ± 20 (1000 ± 200)	50 ± 10 (500 ± 100)
Penetración a 25°C, en 100g y 5 s, 10 <sup>-1</sup> mm	100 – 200	50 – 90	100 - 200	50 - 90	100 – 200	50 - 90	150 - 250
Solubilidad; %, mínimo	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5
Ductilidad a 25°C; cm., mínimo	40	40	40	40	40	40	40

### REQUISITOS DE CALIDAD EN EMULSIONES ASFÁLTICAS CATIONICAS

Características	Clasificación						
	EAR-55	EAR-60	EAR-60	EAR-65	EAR-55	EAR-60	EAR-60
<b>De la emulsión</b>							
Contenido de cemento asfáltico en masa, %, mínimo	60	65	68	65	65	60	60
Viscosidad Saybolt – Furol a 25°C; s, mínimo	-	-	-	-	25	5	25
Viscosidad Saybolt – Furol a 50; s, mínimo	5	40	50	25	-	-	-
Asentamiento en 5 días; diferencia en %, máximo	5	5	5	5	5	5	5
Retenido en malla N°20 en la prueba de tamiz; %, máximo	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Pasa malla N°20 y se retiene en malla N°60 en la prueba de tamiz, %, máximo	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Cubrimiento del agregado seco; %, mínimo-	-	-	-	90	90	-	90



Cubrimiento del agregado húmedo; %, mínimo	-	-	-	75	75	-	75
Carga eléctrica de la partículas	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
Disolvente en volumen; %, máximo	-	3	3	5	-	15	-
Índice de ruptura; %	< 100	< 100	< 100	80 - 140	> 120	-	> 120
Del residuo de la destilación							
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa·S ( P <sup>[1]</sup> )	50 ± 10 (500 ± 100)	500 ± 10 (500 ± 100)	50 ± 10 (500 ± 100)				
Penetración a 25°C, en 100g y 5 s, 10 <sup>-1</sup> mm	110 – 250	110 – 250	110 - 250	100 - 250	100 – 250	100 - 400	100 – 250
Solubilidad; %, mínimo	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5
Ductilidad a 25°C; cm., mínimo	40	40	40	40	40	40	-

Se le efectúan todos los ensayos vistos anteriormente y además los siguientes.

**Disolvente en volumen % máx.:** se obtiene durante el proceso de la destilación y nos ayudan a conocer el % de los elementos que conforman la emulsión.

**Índice de ruptura %:** el cual nos da una idea aproximada del tiempo que tarda en romper la emulsión y en base a este dato conocer los tiempos de trabajo.

### REQUISITOS DE CALIDAD PARA ASFALTOS REBAJADOS Y PRUEBAS

Como son pruebas muy parecidas a las mencionadas anteriormente solo se hará referencia de estas:

**Punto de inflamación Tag.**

**Viscosidad Saybolt-Furol a 50 y 60°C.**

**Contenido de solvente por destilación.**

**Contenido de cemento asfáltico por destilación.**

**Contenido de agua por destilación.**

**Viscosidad dinámica.**

**Penetración.**

**Ductilidad.**

**Solubilidad.**



### REQUISITOS DE CALIDAD DE ASFALTAS REBAJADOS

Características	Grado	
	FM - 1	FR - 3
<b>Del asfalto rebajado</b>		
Punto de inflamación Tag; °C, mínimo	38	27
Viscosidad Saybolt – Furol a 50° C; s	75 - 150	-
Viscosidad Saybolt – Furol a 60 °C; s	-	250 – 500
Contenido de solvente por destilación a 360° C, en volumen; %		
Hasta 225°C	20 máx.	25 min.
Hasta 260°C	25 – 65	55 min.
Hasta 315°C	70 - 90	83 min.
Contenido de cemento asfáltico por destilación a 360°C, en volumen, % mínimo	60	73
Contenido de agua por destilación a 360°C, en volumen, %, máximo	0,2	0,2
<b>Del residuo de la destilación</b>		
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa• s (P <sup>[1]</sup> ), máximo	(2000 ± 400)	(2000 ± 400)
Penetración a 25°C, en 100 g y 5 s; 10 <sup>-1</sup> mm	120 – 300	80 – 120
Ductilidad a 25°C; cm., mínimo	100	100
Solubilidad; %, mínimo	99,5	99,5

### REQUISITOS DE CALIDAD PARA CEMENTOS ASFALTICOS AC-5 Y AC-20 MODIFICADOS

Primero se mencionaran todas las pruebas vistas anteriormente y después se analizaran las específicas de este tipo de materiales.

*Viscosidad Saybolt-Furol.*

*Punto de inflamación Cleveland.*

*Punto de reblandecimiento.*

*Separación diferencia anillo y esfera.*

*Perdida por calentamiento.*

*Ductilidad*

*Penetración*

- ➔ *Viscosidad rotacional Brookfield a 135°.* nos ayuda para determinar la viscosidad de asfaltos modificados sobre todo en el caso de asfaltos ahulados, puesto que dicho ensaye no puede ejecutarse en un viscosímetro capilar.



- **Recuperación elástica por torsión.** Por medio de este ensaye se determina la capacidad de recuperación elástica y es indicativo de la que pasa en el campo por los efectos del calor y de las cargas.
- **Resiliencia.** El objetivo de la prueba es conocer la resiliencia en materiales asfálticos modificados, sometiendo una muestra a una prueba de penetración, para poder predecir su comportamiento a futuro del asfalto.
- **Recuperación elástica en ductilometro.** nos permite valorar las características del asfalto después de someterlo a un ensaye de envejecimiento (prueba de película delgada) y observar cuanto se recupera para posteriormente cortarla.
- **Módulo reológico de corte directo:** con este ensaye se determina su módulo reológico de corte dinámico y su ángulo fase, así como propiedades visco elásticas lineales de un cemento asfáltico, sometido una muestra a esfuerzos de torsión.
- **Separación anillo y esfera en cemento asfáltico modificado.** Conocer a que temperatura el asfalto modificado puede ya trabajarse adecuadamente.

**REQUISITOS DE CALIDAD DE ASFALTOS MODIFICADOS.**

Características	Tipos de cemento asfáltico (tipo de modificador)				
	AC-5 (Tipo I O II)	AC-20 (Tipo I)	AC-20 (Tipo II)	AC-20 (Tipo III)	AC-20 (Hule molido)
<b>Del cemento asfáltico modificado:</b>					
Viscosidad Saybolt – Furol a 135° C; s, máximo	500	1000	1000	1000	–
Viscosidad rotacional Brookfield a 135°C Pa• s (P), máximo	2	4	3	4	–
Viscosidad rotacional Brookfield (tipo Haake) a 177°C Pa• s (P), máximo	–	–	–	–	7
Penetración	80	40	40	30	30
A 25°C, 100 g, 5 s; ; 10 <sup>-1</sup> mm, mínimo	40	25	25	20	15
A 4°C, 200 g, 60 s; ; 10 <sup>-1</sup> mm, mínima					
Punto de inflamación Cleveland; °C, mínimo	220	230	230	230	230
Punto de reblandecimiento, °C, mínimo	45	55	55	53	57
Separación, diferencia anillo y esfera; °C, mínimo	3	3	3	4	5
Recuperación elástica por torsión a 25°C, %, mínimo	25	30	30	15	40
Resiliencia, a 25°C; %, mínimo	20	20	20	25	30
<b>Del residuo de la prueba de la película delgada, (3,2 mm, 50 g)</b>					



Perdida por calentamiento a 163°C; %, máximo	1	1	1	1	1
Ductilidad a 4°C y 5 cm/min.; cm. mínimo	10	7	10	5	5
Penetración a 4°C, 200 g, 60 s; 10 <sup>-1</sup> mm, mínimo	–	–	–	–	10
Penetración retenida a 4°C, 200 g, 60 s; %, mínimo	65	65	65	55	75
Recuperación elástica en ductilómetro a 25°C, %, mínimo	50	50	60	30	55
Incremento en temperatura anillo y esfera; °C, máximo	–	–	–	–	10
Módulo reológico de corte dinámico a 76°C (G*/sen); KPa, mínimo	–	2,2	2,2	2,2	2,2
Módulo reológico de corte dinámico a 64°C (G*/sen); KPa, mínimo	2,2	–	–	–	–
Angulo fase [Visco – elasticidad], a 76°C; ° (grados)	–	75	70	75	–
Angulo fase [Visco – elasticidad], a 64°C; ° (grados)	75	–	–	–	–

### **MEZCLAS ASFÁLTICAS Y NORMATIVIDAD DEL PÉTREO**

#### **MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE:**

Son aquellas elaboradas en una planta adecuada que puede ser estacionaria o móvil, utilizando cemento asfáltico y pétreo seleccionado.

.dichas mezclas se clasifican a su vez en:

➤ **Mezcla asfáltica de granulometría densa:**

Se elabora con cemento asfáltico y material bien graduado con tamaño entre 37.5 mm. (1½”) y 9.5 mm. (¾”).

➤ **Mezcla asfáltica de granulometría abierta:**

Es aquella que presenta un gran porcentaje de vacíos con tamaños de pétreo de 12.5 mm. Y 6.3mm que cumplan los requisitos, **no** tienen una función estructural y se construyen sobre carpetas densas para satisfacer la calidad de rodamiento al permitir que el agua de lluvia penetre en los huecos de la carpeta y con esto minimizar el efecto de acuaplaneo, además de mejorar la visibilidad de las señales horizontales, este tipo de carpetas no deben colocarse en zonas susceptibles al congelamiento ni donde la precipitación pluvial sea menor a 600 milímetros por año.

➤ **Mezcla asfáltica en frío:**

Son aquellas elaboradas en frío, en una planta mezcladora móvil, utilizando emulsiones asfálticas o asfaltos rebajados y materiales pétreos.

En la fabricación de mezclas asfálticas de granulometría densa en frío, que se vayan a emplear en carpetas o en reparación de baches se tomara en cuenta lo siguiente: la



emulsión asfáltica empleada será de rompimiento medio o lento, el rebajado empleado será de fraguado rápido, debiendo cumplir con las condiciones establecidas por la prueba Marshall de acuerdo con el número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas que circulen por ella.

Las mezclas asfálticas en caliente se elaboraran a las temperaturas más bajas posibles, que permitan obtener una mezcla y cubrimiento adecuado del pétreo pero sin provocar que el asfalto se degrade por calentamiento excesivo y lo suficientemente altas para disponer de un tiempo adecuado para el tendido, debiéndose calentar el pétreo para que pierda la humedad totalmente y se tenga una adherencia adecuada entre este y el cemento asfáltico cuando se trate de cementos asfálticos modificados las temperaturas de mezclado se consultaran con el fabricante.

Las temperaturas mínimas convenientes para el tendido y compactación de la mezcla asfáltica, serán determinadas por el responsable, mediante la curva viscosidad-temperatura.

#### **TEMPERATURAS DEL ASFALTO PARA MEZCLAS EN CALIENTE**

Clasificación del asfalto	Temperatura de mezclado °C.
AC-5	120-145
AC-10	120-155
AC-20	130-160
AC-30	130-165

Las temperaturas de la emulsión asfáltica al momento de su empleo para mezclas en frío o carpetas de riego será de 5° a 45°C. Y en el caso de asfaltos rebajados de 60° a 80 °C. No debiéndose aplicar materiales asfálticos a temperaturas menores a 5°C. Cuando exista amenaza de lluvia o cuando la velocidad del viento impida que la aplicación sea uniforme.

#### **CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL PÉTREO**

El otro elemento que contienen las carpetas asfálticas es el material granular, al cual normalmente se le aplica un tratamiento de disgregación, triturado o lavado y se aglutina con cemento asfáltico.

**REQUISITOS DE GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL PÉTREO PARA CARPETAS  
 ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA DENSA ( $\Sigma L \leq 106$ )**

Malla		Tamaño nominal del material pétreo Mm(in)				
Abertura mm	Designación	9,5 ( $\frac{3}{8}$ )	12.5 ( $\frac{1}{2}$ )	19 ( $\frac{3}{4}$ )	25 (1)	37,5 ( $1\frac{1}{2}$ )
Porcentaje que pasa						
50	2"	---	---	---	---	100
37,5	1½"	---	---	---	100	90 – 100
25	1"	---	---	100	90 – 100	76 – 90
19	¾"	---	100	90 – 100	79 – 92	66 – 83
12,5	½"	100	90 – 100	76 – 89	64 – 81	53 – 74
9,5	⅜"	90 – 100	79 – 92	67 – 82	56 – 75	47 – 68
6,3	¼"	76 – 89	66 – 81	56 – 71	47 – 65	39 – 59
4,75	Nº4	68 – 82	59 – 74	50 – 64	42 – 58	35 – 53
2	Nº10	48 – 64	41 – 55	36 – 46	30 – 42	26 – 38
0,85	Nº20	33 – 49	28 – 42	25 – 35	21 – 31	19 – 28
0,425	Nº40	23 – 37	20 – 32	18 – 27	15 – 24	13 – 21
0,25	Nº60	17 – 29	15 – 25	13 – 21	11 – 19	9 – 16
0,15	Nº100	12 – 21	11 – 18	9 – 16	8 – 14	6 – 12
0,075	Nº200	7 – 10	6 – 9	5 – 8	4 – 7	3 – 6



*Maquina desgaste Los Ángeles*



*Ro-tap para granulometría*

En caso de que se requiera material fino (filler) para lograr la granulometría del material, se puede emplear cemento Pórtland o cal, lo cual también acelera la estabilidad de la mezcla y mejora su estabilidad, perfeccionando la afinidad entre el pétreo y el asfalto.



**REQUISITOS DE CALIDAD DEL MATERIAL PÉTREO PARA CARPETAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA Densa (ÚNICAMENTE PARA  $\Sigma L=10^6$ )**

Característica	Valor
Densidad relativa mínimo	2,4
Desgaste Los Ángeles máximo %	35
Partículas alargadas y lajeadas % máximo	40
Equivalente de arena mínimo %	50
Perdida de estabilidad inmersión en agua % máx.	25

Si el tránsito esperado es **mayor** a un millón de ejes equivalentes el pétreo cumplirá con la granulometría de la tabla y con los requisitos de calidad de la siguiente Tabla.

Características	Valor
Densidad relativa, mínimo	2,4
Desgaste Los Ángeles % máximo	30
Partículas alargadas y lajeadas % máx.	35
Equivalente de arena min. %	50
Perdida de estabilidad por inmersión en agua % máx.	25

Si la intensidad del tránsito es mayor a un millón de ejes equivalentes ( $\Sigma L \geq 10^6$ ) el material pétreo deberá cumplir con las siguientes especificaciones.

**REQUISITOS DE GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL PÉTREO PARA CARPETAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA Densa (PARA  $\Sigma L > 10^6$ )**

Malla		Tamaño nominal del material pétreo Mm (in)				
Abertura mm	designación	9,5 ( $\frac{3}{8}$ )	12,5 ( $\frac{1}{2}$ )	19 ( $\frac{3}{4}$ )	25 (1)	37,5 ( $1\frac{1}{2}$ )
Porcentaje que pasa						
50	2"	---	---	---	---	100
37,5	1½"	---	---	---	100	90 – 100
25	1"	---	---	100	90 – 100	74 – 90
19	¾"	---	100	90 – 100	79 – 90	62 – 79
12,5	½"	100	90 – 100	72 – 90	58 – 71	46 – 60
9,5	⅜"	90 – 100	76 – 90	60 – 76	47 – 60	39 – 50
6,3	¼"	70 – 81	56 – 69	44 – 57	36 – 46	30 – 39
4,75	Nº4	56 – 69	45 – 59	37 – 48	30 – 39	25 – 34
2	Nº10	28 – 42	25 – 35	20 – 29	17 – 24	13 – 21
0,85	Nº20	18 – 27	15 – 22	12 – 19	9 – 16	6 – 13

0,425	N°40	13 – 20	11 – 16	8 – 14	5 – 11	3 – 9
0,25	N°60	10 – 15	8 – 13	6 – 11	4 – 9	2 – 7
0,15	N°100	6 – 12	5 – 10	4 – 8	2 – 7	1 – 5
0,075	N°200	2 – 7	2 – 6	2 – 5	1 – 4	0 – 3

**REQUISITOS DE CALIDAD DEL MATERIAL PÉTREO PARA CARPETAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA Densa (PARA  $\Sigma L > 10^6$ )**

<b>Características</b>	<b>Valor</b>
Densidad relativa, mínimo	2,4
Desgaste los Ángeles; %, máximo	30
Partículas alargadas; %, máximo	35
Partículas lajeadas; %, máximo	35
Equivalente de arena; %, mínimo	50
Perdida de estabilidad por inmersión en agua; %, máximo	25

De acuerdo con el tránsito esperado en términos de ejes equivalentes de 8.2 toneladas acumulados durante la vida útil del pavimento debe cumplir con los requisitos de **calidad en la mezcla** cuando se emplee la **prueba Marshall**, que le marca la siguiente tabla. En otros casos se empleara la normatividad correspondiente como el de la prueba de Hveem.



*Conjunto para prueba Marshall    Dispositivo para adherencia*

Características	Numero de ejes equivalentes de diseño	
	$\Sigma L \leq 10^6$	$10^6 < \Sigma L \leq 10^7$



Compactación Marshall, golpes en cada cara de la probeta	50	75
Estabilidad; N (lbf) mínimo	5340 (1200)	8000 (1800)
Flujo; mm (10 <sup>-2</sup> in)	2-4 (8- 16)	2-3.5 (8-14)
Vacios en la mezcla %	3-5	3-5
Vacios ocupados por asfalto %	65-78	65-75

Para la elaboración de carpetas asfálticas **de granulometría abierta**, generalmente con mezcla en caliente, deberá cumplir con la granulometría siguiente; en función del espesor de la carpeta, así como los requisitos de calidad marcados.

Malla		Porcentaje que pasa	
Abertura en mm	Designación	Para espesores ≤4 cm.	Para espesores >4 cm.
25	1"	–	100
19	¾"	100	62 – 100
12,5	½"	65 – 100	45 – 70
9,5	⅜"	48 – 72	33 – 58
6,3	¼"	30 – 52	22 – 43
4,75	Nº 4	18 – 38	14 – 33
2	Nº 10	5 – 19	5 – 19
0,075	Nº 200	2 – 9	2 – 4

**REQUISITOS DE CALIDAD DEL MATERIAL PÉTREO PARA CARPETAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA ABIERTA.**

Características	Valor
Densidad relativa, mínimo	2,4
Desgaste Los Ángeles; %, máx.	30
Partículas alargadas y lajeadas; %, máx.	25
Equivalente de arena; %, mínimo	50
Perdida de estabilidad por inmersión en agua; %, máx.	25

Para obtener el porcentaje óptimo de asfalto de una mezcla abierta se empleara el método **Cántabro**, tendrá como mínimo el contenido de asfalto correspondiente a un desgaste en las probetas igual a treinta (30) por ciento o menor y como máximo el



contenido de asfalto que corresponda a un porcentaje de vacíos en dichas probetas igual a veinte (20) por ciento o mayor.

**El mortero asfáltico** puede emplearse en la construcción de carpetas así como en la renivelación, el bacheo y en trabajos de impermeabilización. Es una mezcla de agua, arena y emulsión asfáltica, que se coloca sobre una base impregnada o una carpeta asfáltica por la que ya se circula, bien sea para renivelarla o para aplicarle un rejuvenecimiento con un riego de sello nuevo.

Se recomienda que la emulsión sea de rompimiento lento o que si se emplea asfalto rebajado este sea de fraguado rápido.

Su características serán de tal manera que se debe estabilizar en un periodo comprendido entre una y cuatro horas.

#### REQUISITOS DE PROPORCIONAMIENTO DE MORTEROS ASFÁLTICOS.

Componentes	Contenido en la mezcla %
Emulsión asfáltica de rompimiento lento	18 – 25
Agua para consistencia la mezcla	10 – 15
Asfalto rebajado de fraguado rápido	14 – 22

**LA GRANULOMETRÍA PROPUESTA PARA UNA CARPETA CON MORTERO ASFÁLTICO ES LA SIGUIENTE:**

Malla		% Que pasa
Abertura mm	Designación	
4,75	Nº. 4	100
2	Nº. 10	89 – 100
0,85	Nº. 20	43 – 72
0,425	Nº. 40	26 – 53
0,25	Nº. 60	17 – 41
0,15	Nº. 100	10 – 30
0,075	Nº. 200	5 – 15

#### REQUISITOS DE CALIDAD DE PÉTREOS PARA MORTERO ASFÁLTICO EMPLEADO EN CARPETAS.

Características	Valor
-----------------	-------



Desgaste por abrasión en húmedo; %, máx.	10
Equivalente de arena; %, min.	50
Perdida de estabilidad por inmersión en agua; %, máx.	25

➤ ***Carpetas por el sistema de riegos.***

Son aquellas que se construyen mediante la aplicación de uno o dos riegos de un material asfáltico, intercalado con una, dos o tres capas sucesivas de material pétreo triturado.

Estas carpetas se clasifican en carpetas de uno, dos y tres riegos. Normalmente se colocan sobre una base impregnada en caminos con bajo nivel de tránsito en cuanto a número y peso o bien se ponen sobre carpetas asfálticas nueva o existente, como capa de rodadura para proporcionar resistencia al derrapamiento y al pulimento.

La emulsión asfáltica que se utilice será de rompimiento rápido pero no se utilizara la emulsión ECR-60.

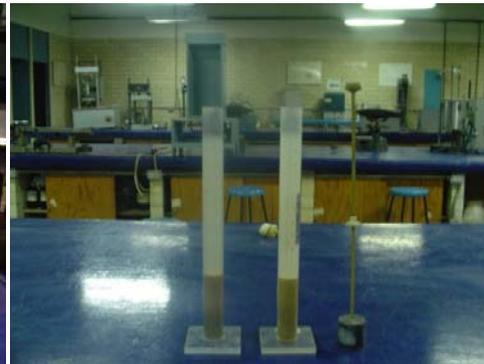
**REQUISITOS DE GRANULOMETRÍA CARPETAS DE RIEGOS.**

Malla		Denominación del pétreo				
Abertura mm	Designación	1	2	3-A	3-B	3-E
Porcentaje que pasa.						
31,5	1¼"	100	—	—	—	—
25	1"	95 min	—	—	—	—
19	¾"	—	100	—	—	—
12,5	½"	5 máx.	95 min	100	—	100
9,5	⅜"	—	—	95 min	—	95 min
6,3	¼"	0	5 máx.	—	95 min	—
4,75	Nº 4	—	—	—	—	5 máx.
2	Nº 10	—	0	5 máx.	5 máx.	0
0,425	Nº 40	—	—	0	0	—

**REQUISITOS DE CALIDAD DEL PÉTREO PARA CARPETAS DE RIEGOS**

Característica	Valor
Desgaste Los Ángeles; %, máximo	30

Partículas alargadas y lajeadas; %, máximo	35
Intemperismo acelerado; % máximo	12
Desprendimiento por fricción; %, máximo	25
Cubrimiento con asfalto (método Ingles); %, mínimo	90



*Conjunto para forma de la partícula Prueba de equivalente de arena*



**Planta de concreto asfáltico del DF**

Principales elementos de una planta dosificadora de concreto asfáltico:

- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Tolva en frío</li> <li>➤ Compuerta de alimentación en frío</li> <li>➤ Elevador de material en frío</li> <li>➤ Secador</li> <li>➤ Colector de polvo</li> <li>➤ Chimenea de esc</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Elevador de material en caliente</li> <li>➤ Unidad de cribado</li> <li>➤ Tolvas calientes</li> <li>➤ Caja pesadora</li> <li>➤ Unidad de mezclado</li> </ul> |
|---|--|



## **PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE CARPETA DE CONCRETO ASFÁLTICO. (MEZCLA EN CALIENTE)**

- Se elige el banco que en general debe ser de roca masiva, con los desperdicios suficientes para triturarse o bien si se tiene bastante material liso, también pasarlo por la trituradora para que le provoque cierta rugosidad.
- Se hace el proyecto de granulometría y la prueba correspondiente en el laboratorio para encontrar el porcentaje óptimo de asfalto. (cuando se requiere de un material fino (*filler*) para lograr la granulometría adecuada se puede emplear cemento Pórtland o cal, lo que también acelerara la estabilidad de la mezcla, mejorando la adherencia entre el pétreo y el asfalto.
- Por medio de bandas el material se lleva al cilindro de calentamiento y de secado, aquí el pétreo se calienta a una temperatura de 150° a 160° Centígrados para que pierda totalmente la humedad y presente una adecuada adherencia con el asfalto.
- Con el pétreo seco este se pesa y se deposita en la caja mezcladora en donde se provee de cemento asfáltico también por peso y a las temperaturas recomendadas, se efectúa la mezcla hasta su homogenización para de ahí pasar al equipo de transporte, el cual estará limpio, empleando para esto de preferencia una solución jabonosa o agua y cal, el vehículo deberá llenarse en varias descargas sucesivas de mezcla para minimizar la segregación de los pétreos, siendo el acomodo de los extremos hacia el centro de la caja. Una vez cargado el producto deberá cubrirse con una lona que lo preserve del polvo, materias extrañas y de la pérdida de calor.
- El tiempo de transporte está en función de la pérdida de temperatura de la mezcla, la cual deberá ser tendida y compactada a las temperaturas mínimas determinadas con la curva viscosidad- temperatura sin embargo en el caso de mezclas de granulometría abierta el tiempo de transporte será de 1.5 horas como máximo para evitar el sangrado del cemento asfáltico y además se recomienda no transportarlas por caminos sin pavimentar.
- Antes de tender la mezcla se debe aplicar un **riego de liga**, el cual consiste en la aplicación de un material asfáltico sobre una capa de pavimento, con objeto de lograr una buena adherencia con la otra capa de mezcla asfáltica que se construya encima, normalmente se emplea una emulsión asfáltica de rompimiento rápido, dicho riego puede suprimirse si la carpeta asfáltica que se construirá encima de la base tiene un espesor mayor o igual a diez (10) centímetros. La proporción a emplear puede variar de 0.7 a 1.0 litros/metro<sup>2</sup> no debiendo quedar charcos ni zonas sin cubrir. Antes de aplicar este riego la superficie por cubrir deberá estar libre de materias extrañas, polvo, grasa o encharcamientos, sin irregularidades y reparados los baches que hubieran existido, se recomienda aplicar un riego con arena para evitar que a las ruedas de los camiones se les adhiera el riego.



- La mezcla deberá llegar al tramo en construcción a una temperatura de 130° a 140° C. se descarga sobre la extendedora (**finisher**) la cual le proporcionara el espesor suelto adecuado y una ligera compactación, durante el tendido de la mezcla la tolva de descarga de la pavimentadora permanecerá llena para evitar segregación de los materiales, además si la mezcla esta quemada no se permitirá su tendido, se recomienda tener un equipo de rastrillos cuya misión es asegurar una textura conveniente en la superficie y borrar las juntas longitudinales entre franjas.
- A una temperatura mayor a 100°C. se inicia la compactación de la franja, al principio se emplea un rodillo de aproximadamente 7.0 toneladas, para dar un primer armado y permitir después la entrada de un equipo más pesado (15 a 20 toneladas) este no se emplea desde el principio pues provocaría desplazamiento de la mezcla, se recomienda emplear rodillos de neumáticos al principio para finalizar con un rodillo lizo que borre las huellas dejadas por el primero. En el caso de carpetas de granulometría abierta o semiabierta la mezcla se compactara mediante dos pasadas con compactadores de rodillo lizo metálico estático, con un peso mínimo de 10 toneladas, la compactación se hará longitudinalmente a la carretera, de las orillas hacia el centro en tangentes y de adentro hacia fuera en curvas, con un traslape de cuando menos la mitad del ancho del compactador en cada pasada, el usar compactadores vibratorios se permitirá solo para capas mayores a cuatro centímetros de espesor en carpetas de granulometría densa. En las aéreo pistas además de lo anterior se pasa el equipo en la dirección perpendicular y oblicua con respecto del eje del camino. La compactación termina cuando se alcance el grado mínimo que marca el proyecto (95% mínimo) o bien cuando la mezcla presente una temperatura igual o menor a 70°C. para comprobar el grado de compactación se efectuaran calas, el numero de corazones por extraer se determina aplicando la siguiente formula
  - $C = L/50$ 
    - $C = \text{Numero de corazones por extraer.}$
    - $L = \text{Longitud del tramo construido en un día de trabajo.}$
- Apoyándonos para esto con una extractora de corazones y después se vuelve a colocar material de las mismas características para cubrir este hueco y no queden fallas. durante el tendido y compactación de la mezcla pueden aparecer grietas y desplazamientos motivados por diferentes causas como las siguientes: aplicación de un riego de liga defectuoso, ya sea en exceso o escaso, falta de viscosidad del asfalto provocada por el calentamiento excesivo o bien por qué el material pétreo no perdió totalmente la humedad.
- Para conocer **la permeabilidad** de la carpeta se realizara un ensaye de campo, el cual consiste en colocar un aro de lámina galvanizada de 250 mm. de diámetro y sellamos el aro en su base (con plastilina, silicón, mastique, etc.) se coloca en el centro un cono de bronce de 25 mm. de altura y 20 mm. de base, se agrega agua hasta el ras del cono observando que no baje el nivel del agua en un tiempo de 10 minutos y si esto llega a suceder agregar agua la cual se tendrá en una probeta



y de esta manera se puede medir cuánta agua le agregamos. el índice de permeabilidad de la carpeta se obtiene con la siguiente ecuación:

- Índice de permeabilidad =  $\frac{\text{volumen delimitado en interior del aro (1247 cm}^3\text{)}}{\text{Volumen de agua agregado}} * 100$
- La carpeta deberá presentar un índice de permeabilidad **menor de 10%**, para ser aceptada
- Aunque la carpeta presente un índice de permeabilidad adecuado lo más recomendable es colocarle un **riego de sello** que además de impermeabilizarla, provocara una superficie de desgaste en la carpeta aumentando con esto su vida útil. De esta manera se mejora el coeficiente de rugosidad y además sirve para señalar la superficie de rodamiento que los conductores reconocerán por el ruido de las llantas o el color de la superficie.
- Existe varios proceso para este tipo de tratamientos, uno de estos consiste en regar emulsión asfáltica de rompimiento lento y sobre de ella colocar un material pétreo del tipo **3E** el cual se planchara con el rodillo liso para que penetre en las oquedades de la carpeta, se deberá barrer el material que no se adhiera pues las partículas sueltas pueden provocar el rompimiento de cristales, que salen disparados por las llantas de los vehículos hacia atrás y esto puede romper los parabrisas. También puede emplearse un mortero asfáltico para este tipo de trabajos, cuyo nombre en inglés se denomina **slurry seal** el cual consiste en una carpeta delgada que se coloca como sello o bien como sobre-carpeta, este tipo de material presenta la ventaja de no dejar material suelto y es más común su empleo en aeropuertos pues en estas obras las partículas sueltas pueden penetrar en las turbinas de los aviones causando daños.
- Cuando se tengan carpetas de granulometría densa y el tendido se realice en dos o más franjas, con un intervalo de más de un día, estas se ligaran con cemento asfáltico o emulsión de fraguado rápido.
- En una carpeta drenante se deben evitar las juntas longitudinales, pero si es necesario colocarlas es importante que no se obstruya el drenaje.
- El índice de perfil (que se tomara con un **perfilografo**) de la carpeta será de 14 centímetros por Kilómetro como máximo, si es menor de 10 cm. Se estimulara al contratista, pero si resulta mayor a 24 cm. Por Km. Entonces el constructor por su cuenta efectuara las correcciones necesarias y se hará acreedor a una sanción
- Con un equipo **Mu-Meter** se medirá la resistencia a la fricción en pavimento mojado a una velocidad de 75Km. /h. y deberá ser igual o mayor de 0.6 décimas, realizándose sobre la huella de rodada externa.

#### FALLAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES.

En términos generales para un pavimento, se pueden manejar dos tipos de fallas, que son las **funcionales** y **las estructurales**.



**La falla funcional:** es aquella que presentan los caminos cuando las deformaciones superficiales son mayores a las tolerables, de acuerdo con el tipo de camino que se trate; ya que se puede tener una superficie de rodamiento con deformaciones aceptables para caminos secundarios, pero que pueden considerarse inconvenientes para autopistas, pueden ser de muy variados tipos como las siguientes: afloramiento de asfaltos, ondulaciones transversales ligeras y continuas, desmoronamiento de la carpeta, etc.

**La falla estructural:** implica una destrucción de alguna o algunas capas del pavimento y puede deberse a lo siguiente: el tránsito que ha soportado es mayor al que se calculó para su vida útil, en otras ocasiones puede presentarse prematuramente, debiéndose principalmente a espesores reducidos, materiales de mala calidad a menudo combinados con un mal drenaje y una baja compactación, lo podemos encontrar de la siguiente manera: grietas en la carpeta en forma de piel de cocodrilo, desprendimiento del pétreo, asentamientos de gran amplitud, calavereo, etc.

Ligado a la falla funcional se tiene el índice de servicio, que es una calificación de la superficie de rodamiento, esto se estima en función del estado físico de la superficie de rodamiento, esto lo califican un grupo de técnicos basados en la cantidad de baches, deformaciones y grietas del pavimento y en algunas ocasiones se auxilian del usuario para que por medio de encuestas conocer su opinión y tener un panorama más amplio.

La AASHTO asignó una calificación de acuerdo al índice de servicio y la S.C.T. Propuso una evaluación basado en las condiciones que presenta la República Mexicana.

AASHTO  
4-5 Muy bueno  
3-4 Bueno  
2-3 Medio  
1-2 Mediocre  
0-1 Muy malo

S.C.T.  
5 Excelente  
4-5 Muy bueno  
3-4 Bueno  
2-3 Regular  
1-2 Malo  
0-1 Muy malo  
0 Intransitable

La falla en una calzada es pocas veces brusca, estas se deterioran por efectos del tránsito y de la intemperie, resultando muy difícil predecir con exactitud el estado de conservación al que llegará el pavimento después de haber soportado el tránsito para el que fue prevista, una carretera bien construida debe evolucionar lentamente en sus fallas y estas deben aparecer poco a poco.

Se considera que un pavimento rígido recién construido tiene una calificación de 4.5 y en uno flexible su calificación máxima es de 4.3.

De acuerdo a estas calificaciones se tiene que se requiere de una rehabilitación en ambas estructuras cuando alcanza una evaluación de 2.5.

Durante muchos años se han empleado los parámetros descritos anteriormente, pero se considera que como la calificación es levantada por un grupo de 5 evaluadores es muy subjetiva lo cual puede reflejar un panorama inexacto de las condiciones del pavimento en estudio, por esto se hace necesario contar con parámetros más objetivos

Por esta razón a partir de 1986 el banco mundial propuso un nuevo método basado en la rugosidad de la superficie que se conoce como IRI (índice de rugosidad internacional), dicho calculo relaciona la acumulación de desplazamiento del sistema de suspensión de un vehículo tipo dividido entre la distancia recorrida, a una velocidad de 80.0 Km. /hr. Y se expresa en mm/m. ó en m. /Km.: para caminos pavimentados el rango del IRI es de 0 a 12 m/Km, donde 0 representa una superficie perfectamente uniforme y 12 un camino intransitable y para no pavimentados la escala se puede extender hasta 20, resultando un nivel de rechazo o de rehabilitación el de 2.5

**1. Superficie de Asfalto Existente.** Las fallas que se consideran en una superficie de asfalto son las siguientes:



Huecos o Baches Abiertos. Cavidades o depresiones producidas por desprendimiento de la carpeta asfáltica y de capas granulares.

**Se consideran 3 tipos de huecos:**

- **Superficiales:** Sólo comprometen la capa de rodadura y su profundidad es menor a 3 cm.
- **Medios:** Implican parte o la totalidad de la carpeta asfáltica y su profundidad oscila entre 3 y 5 cm.
- **Profundos:** Depresión superior a 10 cm. con expulsión de material de la base granular



**a) Fisuras Longitudinales y Transversales.**

Son agrietamientos longitudinales y/o transversales que no constituyen una malla, sino que se presentan en forma aislada o continua y son producidas por deficiencia en las juntas de construcción, por contracción de la mezcla o desplazamiento de los bordes. Se consideran tres tipos de fisuras: Longitudinales, transversales y en bloque



**b) Desgaste Superficial.** Son las irregularidades que se observan en la



superficie, en áreas aisladas o en forma generalizada, y son el producto del desgaste de las partículas superficiales o el desprendimiento de alguna de ellas por acción del tránsito o inclemencias del tiempo.

**El desgaste se clasifica en:**

**Ligero:** Pérdida de textura uniforme, mostrando rugosidad e irregularidades hasta de 5 mm de profundidad.

**Medio:** Cuando las irregularidades están entre 5 y 15 mm de profundidad. Las partículas de agregado están expuestas y se siente vibración al circular.

**Severo:** Desintegración superficial de la carpeta, con desprendimientos evidentes y partículas sueltas sobre la vía.



**c)Piel de Cocodrilo.** Son agrietamientos en forma de malla. Inicialmente se presenta en cuadros más o menos regulares con lados entre 25 y 30 cm.; que se fragmentan progresivamente en forma de piel de cocodrilo.

Posteriormente estas fisuras se ensanchan y profundizan ocasionando desprendimientos.

***Se consideran 3 tipos de fallas:***

**Ligero:** Cuando los agrietamientos son muy delgados y el tamaño de los cuadros tienen dimensiones próximas a 25 cm. por lado, no existe deformación superficial.

**Medio:** Cuando los bloques se han reducido de tamaño y presentan aristas redondeadas por pérdida de partículas, las grietas que los separan son mayores de 1.0 cm., se advierten deformaciones y movimientos relativos con posible desprendimiento de algunos bloques.

**Severo:** Cuando las deformaciones son grandes, hay pérdida del material asfáltico y aparición del material de base.

**d)Ondulaciones:**

Son deformaciones grandes en la plataforma de la vía, que alteran su perfil longitudinal por asentamientos del



terraplén o por levantamientos causados por las raíces de árboles. Por los daños encontrados en la vía y la capacidad estructural residual del pavimento, se consideran desde la etapa de diseño algunas actividades correctivas.



**e)Roderas.** Son deformaciones del perfil transversal por hundimiento a lo largo de las rodadas, con la aparición de cordones laterales a cada lado de la rodera. La profundidad máxima de la rodera, se mide con una regla colocada transversalmente al eje de la carpeta a cada 100 m. o más.

**Ligero:** menor a 2 cm. de profundidad.

**Media:** de 2 a 4 cm. de profundidad.

**Severa:** mayor a 4 cm. de profundidad.

Se presenta principalmente por mala compactación materiales falta de cohesión, en la capa inferior, por el empleo de materiales redondeados y exceso de asfalto.

**2. Reparación de Fallas.** Para garantizar la uniformidad en el soporte de la estructura asfáltica, se deben realizar correcciones en los sitios en donde se presenten las siguientes irregularidades, de acuerdo con la tabla:

<b>TIPO DE FALLA</b>	<b>REPARACIÓN REQUERIDA</b>
Rodera menor a 50 mm	Relleno de material asfáltico como un mantenimiento rutinario.
Rodera mayor a 50 mm	Fresado o nivelación
Deformación plástica excesiva	Fresado
Baches	Reparación
Falla de subrasante	Remoción y reparación
Fisuras en general fatigada en bloque, transversal y longitudinales	Ninguna
Exudación	Ninguna
Degradación superficial	Ninguna



**PRINCIPALES FALLAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES Y CAUSAS MÁS COMUNES**

<b>FALLAS POR DESPRENDIMIENTO</b>	<b>CAUSAS MAS COMUNES</b>
BACHES	Bajo contenido de asfalto, pétreo de baja calidad, sección estructural deficiente, mal drenaje, tránsito intenso.
LEVANTAMIENTO	Baja afinidad o liga de asfalto, expansión
PULIDO DE SUPERFICIE	Exceso de asfalto, mala afinidad, desgaste de agregados, excesiva compactación, tránsito intenso.
DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS	Bajo contenido de asfalto, expansión, fuerzas tangenciales o longitudinales.
DESPRENDIMIENTO DEL SELLO	Mala calidad en la liga, bajo contenido de asfalto, sección estructural deficiente, tendido en frío.
<b>FALLAS POR DEFORMACIÓN</b>	<b>CAUSAS</b>
RODADERAS	Baja estabilidad, deformación o resiliencia de la subrasante, baja compactación, sección estructural deficiente.
ONDULACIONES TRANSVERSALES	Exceso de asfalto, mala calidad en la liga entre capas agregados de mala calidad, base mal estabilizada, tránsito intenso y pesado.
ASENTAMIENTO	Falla en sub drenaje, agregados malos, sección estructural deficiente, baja compactación, interferencias naturales o inducidas, tránsito intenso.
DESPLAZAMIENTO TRANSVERSAL	Baja estabilidad, exceso de asfalto, VRS. Insuficiente, Resiliencia de sub rasante, estructura deficiente, tendido en frío, baja compactación.
<b>ROTURAS</b>	<b>CAUSAS</b>
GRIETAS EN ZIG-ZAG	Agregados de mala calidad, VRS. Insuficiente, falta de confinamiento.
GRIETAS FINAS	Bajo contenido de asfalto, oxidación, fatiga o envejecimiento, agregados de mala calidad, base mal estabilizado, excesiva compactación, mezcla compactada muy caliente.

PIEL DE COCODRILO	Oxidación, VRS. Insuficiente, deformación de la sub rasante, sección estructural deficiente, tránsito intenso superior al de diseño.
<b>VARIOS</b>	<b>CAUSAS</b>
EXUDADO DE ASFALTO	Exceso de asfalto, mala calidad en la liga, excesiva compactación, compactación muy caliente.
MARCADO DE HUELLA	Baja estabilidad, exceso de asfalto, tendido frío.
EXPULSIÓN DE FINOS	Falla de subdrenaje, agregados de mala calidad, tránsito intenso.
ELEVACIÓN DIFERENCIAL ENTRE CARRILES	Reflejo de grietas o juntas inferiores, deformación ó resiliencia de la subrasante, drenaje deficiente.

**FALLAS MÁS COMUNES EN PAVIMENTOS RÍGIDOS.**

**a) Fisuras longitudinales y transversales:**



La posible causa puede ser la excesiva repetición de cargas pesadas (fatiga), deficiente apoyo de las losas, asentamientos de las capas inferiores, excesiva relación longitud / ancho de la losa o deficiencias en la construcción de éstas. La ausencia de juntas transversales, conducen a fisuras normales al eje o diagonales, regularmente distribuidas o próximas al centro de las losas, respectivamente. Variaciones significativas en el espesor de las losas provocan también fisuras.

Reparación: Puede realizarse rellenando la grieta con silicón o algún producto asfáltico como las emulsiones de rompimiento lento a medio.

***b) falla en esquina***



Es un problema que interfecta la junta o borde que delimita la losa a una distancia menor de 1.30 m a cada lado, medida desde la esquina.

Posibles Causas: Son causadas por la repetición de cargas pesadas (fatiga de concreto) combinadas con la acción drenante, que debilita y erosiona el apoyo de la fundación, así como también por una deficiente transferencia de cargas a través de la junta, que favorece el que se produzcan altas deflexiones de esquina.

***c) Hundimiento.***



La posible causa es debida a la expulsión de los finos de la capa inferior hacia la superficie por el fenómeno conocido como bombeo de materiales, que se da porque la capa inferior se satura de agua.

Para reparar este tipo de falla, se recomienda la remoción de la losa afectada y mejoramiento del drenaje de la capa inferior.

***d) Pulimento en la superficie.***



Puede ser ocasionado porque los agregados que se emplearon no tenían la dureza adecuada.

Las probables soluciones pueden ser la aplicación de un texturizado para provocar mayor fricción entre neumático y pavimento; o bien la colocación de una sobre carpeta.

---

---

**MEDICIÓN DEL ESTADO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO**

---

---



La característica estructural del pavimento se mide ya sea con métodos no destructivos, donde se mide la deflexión bajo cargas estáticas o con pruebas de falla, que consiste en quitar tramos del pavimento y probarlos en el laboratorio.

Los cuatro métodos básicos de prueba no destructivos son:

- 1.- Mediciones de deflexión estática.
- 2.- Mediciones de deflexiones debidas a cargas dinámicas o repetidas.
- 3.- Mediciones de deflexiones con una carga que cae (carga de impulso)
- 4.- Mediciones de densidad de las capas de pavimento, con radiaciones nucleares, que se usan principalmente para evaluar las capas del pavimento durante su construcción.

### **DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO**



Equipo constituido por una masa que se deja caer por gravedad, desde una altura determinada, sobre una placa, provista de un sistema de distribución, que transmite la carga de manera uniforme a la superficie sobre la que se apoya.

### **Características técnicas**

#### **Deflectómetro de Impacto de 65 Kn**

- La onda de carga simula la producida por un vehículo circulando a 70 km/h. El tiempo de carga es de 30 milisegundos y la carga máxima equivalente es de 65 Kn.
- La deflexión debida a la carga se mide a través de cinco sismómetros situados uno en el centro de la placa, y los otros a distancias de 20, 30, 45 y 90 cm.
- El rendimiento del equipo (suponiendo una distancia entre puntos de medida de 25 m) es de aproximadamente 2 Km. /h.

### **PERFILÓGRAFO LÁSER DE ALTO RENDIMIENTO**



El perfilógrafo es un equipo preparado para registrar los perfiles longitudinales y transversales de las carreteras, así como la textura de las mismas. Está montado en un vehículo, modelo Transporte Combi.

La parte frontal consta de una barra provista de 15 cámaras láser para medida de la regularidad superficial. En dicha barra va también situada otra cámara láser para medida de la textura. Los extremos de la barra de medida son retractiles con el fin de que el ancho no supere el del propio vehículo durante el transporte.

En el interior del vehículo se encuentran la fuente de alimentación eléctrica y los sistemas de adquisición de datos.

El operador dispone de un panel de control, un teclado y una pantalla de tipo LCD.

Dada la elevada velocidad de medida (entre 25 y 120 Km. /h, dependiendo de la separación entre perfiles consecutivos), el ensayo se puede realizar sin que la medición afecte al desarrollo normal del tráfico.

### **Características técnicas**

- 15 cámaras láser de 16 KHz. para medida de la regularidad.
- Cámara láser de 64 KHz. para medida de la textura.
- Unidad inercial compuesta por dos giróscopos y tres acelerómetros.
- Sistema de posicionamiento G.P.S.

### **Aplicaciones**

- Medida y registro del perfil longitudinal en 15 líneas de perfil.
- Medida y registro de perfiles transversales.
- Cálculo de índices de regularidad superficial (IRI; APL; PSI).
- Medida y registro de la textura de los pavimentos.

### **VIGA BENKELMAN**



Deflectómetro mecánico simple. Una palanca suspendida de un bastidor, transmite la deflexión vertical del punto de medida a un comparador.

### **Características técnicas**

- Bastidor: Viga de sustentación de la palanca de medida y del comparador.
- Palanca de medida de 3,60 m.
- Comparador: Aparato con limbo dividido en 0,01 mm. con recorrido de 12 mm.
- Palpador: Pieza metálica que reposa sobre el suelo en el punto de medida.

### **Aplicaciones**

- Determinación estática de la deflexión elástica recuperada del firme.

- Determinación de la deformación originada por la carga con relación al punto de medida fijo.

### **VIÁGRAFO (PERFILOGRAFO CALIFORNIA)**



Equipo de medida de tipo geométrico de la regularidad superficial de un firme de carretera.

Consta de ocho ruedas alineadas, unidas entre sí por medio de balancines, y una rueda libre vertical colocada en posición central y alineada con las otras ocho. La velocidad de ensayo es de 2-8 Km. /h, y el registro de datos se realiza mediante ordenador.

### **PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO**





Penetrómetro portátil, constituido por una masa deslizante que se deja caer por gravedad sobre un yunque de impacto, y que por medio de una varilla transmite la energía a una puntaza cónica que se hinca en el terreno.

#### **Características técnicas**

- Martillo de impacto: masa deslizante de acero de 8 Kg.
- Recorrido de la masa: 575 mm.
- Varilla de acero de 16 mm. de diámetro y penetración máxima 800 mm. bajo la superficie (varilla suplementaria de - longitud útil 400 mm.).
- Puntaza cónica enroscable de 20 mm. de diámetro y ángulo de cono 60°.

#### **Aplicaciones**

- Utilización en capas granulares de firme.
- Medida de la resistencia a la penetración.
- Determinación de espesores de las capas de firme.
- Evaluación de la capacidad portante de las capas de firme (correlación con índice CBR).
- Evaluación de las características mecánicas de los materiales de las capas de firme (correlación con el módulo de deformación).

Existen otros diferentes métodos para evaluar un pavimento de manera indirecta, pero si se requiere mayor precisión y confianza lo más recomendado es realizar sondeos, para tomar muestras de las diferentes capas de la estructura vial y analizar su características, realizando ensayos en el laboratorio y campo, sustentados en los resultados obtenidos se tenga una mejor evaluación de la posible falla y de su solución.

#### **Procedimiento para calcular el *contenido mínimo* de asfalto en el proyecto de mezclas, por medio de fórmulas empíricas para suelos con finos**

Tabla I para constante de área.

MATERIAL		CONSTANTE DE ÁREA
Pasa la malla	Se retiene en la malla	m <sup>2</sup> /kg.
1 1/2	3/4	0.27
3/4	No. 4	0.41
No.4	No 40	2.05
No. 40	No.200	15.38



No. 200		53.30
---------	--	-------

Tabla II para índice asfáltico.

MATERIAL	INDICE ASFALTICO Kg/m <sup>2</sup>
Gravas o arenas de río, material redondeado de baja absorción	0.0055
Gravas angulosas o redondeadas trituradas de baja absorción	0.0060
Gravas angulosas o redondeadas de alta absorción y rocas trituradas de absorción media	0.0070
Rocas trituradas de alta absorción	0.0080

Baja absorción ≤ 2%    Absorción media 2-4 %    Alta absorción ≥ 4%

Proceso a seguir:

- ❖ Obtener la granulometría.
- ❖ Calcular la superficie parcial = (% Retenido parcial) (Constante de área)
- ❖ Contenido parcial de cemento asfáltico = (Superficie parcial) (Índice asfáltico)
- ❖ Contenido de producto asfáltico = contenido parcial de cemento asfáltico \* 100  
Residuo asfáltico.
- ❖ Producto asfáltico en volumen (P.A.V.).

$$P.A.V. = \frac{\text{Contenido de producto asfáltico}}{\text{Densidad media del asfalto}} * \frac{\text{peso volumétrico suelto}}{\text{Densidad del agua}}$$

- ❖ Multiplicar el resultado por 1000 l/m<sup>3</sup> (densidad media del agua) para obtener la cantidad en estas unidades.

**Ejemplo: Obtener el contenido mínimo de una mezcla asfáltica**

**Si se tienen los siguientes datos:**

**GRANULOMETRIA**

MALLA	% QUE PASA	% RETENIDO
1"	100	0
3/4"	100	0
1/2"	80	
3/8"	71	



No 4	56	44
No 10	40	
No 20	20	
No 40	15	41
No 60	8	
No.100	6	
No 200	5	10
PASA No 200		5

Se empleara una emulsión asfáltica de rompimiento medio con un 65% de residuo asfáltico, el asfalto presenta una densidad media de 0.97 y el P.V.S. del material pétreo de 1530 Kg./m<sup>3</sup>, la mezcla de material pétreo está compuesta de rocas trituradas con una absorción del 4% y arenas de rio.

Material	% Retenido (decimales)	Constante de área	Superficie parcial	Índice asfáltico	Contenido parcial de cemento asfáltico
¾"-No 4	0.44	0.41	0.1804	0.0080	0.0014432
No 4-No 40	0.41	2.05	0.8405	0.0055	0.0046228
No 40-200	0.10	15.38	1.5380	0.0055	0.0084590
Pasa 200	0.05	53.30	2.665	0.0055	0.0146575
suma				∑	0.02918 Kg./Kg.

El contenido mínimo de asfalto (expresado como cemento asfáltico) es de 0.02918 Kg, de cemento asfáltico por Kg. de material pétreo con estas características, esto sería igual o correspondería al 2.9% en peso de cemento asfáltico con relación al peso del agregado.

Cont. De producto asfáltico=  $0.02918/0.65 = 4.49\%$  de emulsión asfáltica con respecto del peso del material pétreo.

$$P.A.V. = 0.0449 * \frac{1530 \text{ Kg/m}^3}{0.97 * 1000 \text{ Kg. /m}^3} = 0.07038$$

Cantidad en l/m<sup>3</sup>=  $0.07083 * 1000 \text{ l/m}^3 = 70.83 \text{ l de emulsión asfáltica/m}^3 \text{ de pétreo.}$





# UNIDAD V

# FACTORES PARA EL

# DISEÑO DE PAVIMENTOS

## FACTORES DE PROYECTO

---

Son varios los elementos que se deberán tomar en cuenta al momento de realizar el diseño de la estructura del pavimento, se mencionan los más importantes y algunos valores que se requieren conocer para efectuar dicho cálculo.



En los pavimentos flexibles son los siguientes:

**CARGAS DEL TRÁNSITO:**

En este componente influyen diferentes condiciones que se deben tomar en cuenta y pueden ser:

- a) Magnitud de las cargas y presión de inflado.
- b) Repetición de las cargas.
- c) Radio de influencia de la llanta (área de contacto).
- d) Velocidad de proyecto.
- e) Configuración de ejes y ruedas.
- f) Distribución del tránsito en la sección del camino.
- g) Transito promedio diario anual, % de tránsito en el carril de diseño, incremento anual.

**El tránsito** provoca las cargas a las que va a estar sujeto el pavimento, la magnitud de estas varía desde 8.2 toneladas (18000 libras) por eje en camiones, hasta 150 toneladas (300 000 libras) que pesa en total un avión DC-8. La presión de inflado varia de 4 a6 kg. /cm<sup>2</sup> (60 a90 lb. /plg.<sup>2</sup>) en camiones y de 13 a14 kg. /cm<sup>2</sup> (200 lb. /plg.<sup>2</sup>) en aviones pesados.

A la aplicación de una carga en movimiento se le conoce como **repetición** y es cuando ocurren dos pasadas sucesivas de una misma llanta por un mismo punto, siendo el material que más afecta el de la capa de base ya que le provoca una trituración, por las características del mismo.

La velocidad de aplicación de las cargas es de gran influencia, ya que las cargas más lentas ejercen mayores efectos que las rápidas, por esto es común observar más destruidos los tramos de subida que los de bajada y los laterales con respecto de los centrales.

De acuerdo con el método de diseño a emplear, las características del tránsito se aplican de manera diferente en la estructuración. Una de estas puede ser el de nivel fijo en el cual se elige el vehículo que más daño cause al pavimento (método del Instituto del asfalto de los EE.UU.) y el otro parámetro para el diseño es el transito mezclado (método del Instituto de Ingeniería).

En México las cargas máximas legales por eje hasta 1999 son las siguientes:

- 5.5 toneladas eje sencillo rueda sencilla.
- 10.5 toneladas eje sencillo rueda doble.



- 18.0 toneladas eje tándem rueda doble.
- 27.0 toneladas eje tándem rueda doble.

En el eje sencillo con cuatro llantas el máximo peso permitido es de 9000 kilogramos y para ejes tándem con cuatro llantas el máximo fue de 7250 kilogramos por cada uno, el peso bruto total fue de 34000 kilogramos para el C3-R2.

En el eje motriz tándem su carga máxima en 1994 era de 19,500 Kg. y para el motriz triple de 24, 000 kilogramos siendo el peso bruto vehicular máximo aprobado de 66 500 kilogramos para el T3-S2-R4. Cuando este transporte traslade gases químicos por caminos tipo “A “será hasta de 72,500 kilogramos además el peso bruto vehicular podrá incrementarse en 1.5 toneladas por cada eje motriz y de 1.0 tonelada para cada eje de carga.

Algunos métodos de diseño desglosan a los vehículos terrestres en grupos de acuerdo con su peso y su número de ejes, además de la posición de los mismos se requiere conocer su peso cargado y vacío, puede estar compuesto por unidades de tracción, una caja y un remolque cada una conteniendo varios ejes en diferentes combinaciones y con una o dos llantas (tándem) variando su peso desde 3.0 hasta 60.0 toneladas.

Las cargas por llanta pueden ser tan pequeñas como 200 a 250 kilos por cada una y alcanzar valores de hasta 3,000 a4,000 kilogramos.

**EL PESO QUE SOPORTA CADA EJE VARÍA DE 3,000 KILOGRAMOS EN ADELANTE  
HASTA EL MÁS PESADO DE 12,000 KILOGRAMOS.**

Tipo de eje	No. de llantas	Carga por llanta (ton:)	Carga por eje tipo(toneladas)	
			Por eje	total
sencillo	2	3.3	6.6	6.6

sencillo	4	2.75	11.0	11.0
sencillo	8	2.75	22.0	22.0
Doble o tándem	8	2.75	11.0	22.0
Doble o tándem	16	2.75	22.0	44.0
Triple o tridem	12	2.75	11.0	33.0
Triple o tridem	24	2.75	22.0	66.0
4 o más ejes	8 por eje	2.25	18.0	variable
4 o más ejes	12 por eje	2.25	27.0	variable

**El clima:**

El principal factor que afecta un pavimento es el agua, ya sea por acción directa o por elevación de las aguas freáticas. Cuando el suelo se congela provoca una disminución en el esfuerzo cortante de los suelos y en ocasiones cierta expansión, los cambios de temperatura y sus variaciones afectan los diseños sobre todo en losas de concreto, pues inducen esfuerzos muy importantes en tales estructuras. En pavimentos flexibles el reblandecimiento del asfalto con el calor y una dureza extrema del asfalto en tiempos de frío provocan cambios muy drásticos que se deben tomar en cuenta al momento de diseñar.

Se deben tomar en consideración las temperaturas máximas y mínimas de la región, el escurrimiento superficial de la zona además de las infiltraciones ya que un drenaje inadecuado causa reblandecimiento en los materiales subyacentes y las consecuentes fallas.

**Características de los materiales:**

Se debe efectuar una selección adecuada y cumplir con las normas marcadas, realizando las pruebas correspondientes para verificar y llevar un control adecuado.



***Riego con agua para humedad óptima***



***Proceso constructivo adecuado***



*El proceso constructivo, el mantenimiento y el periodo de diseño* son factores que se deben tomar en cuenta para tener un proyecto lo más adecuado posible.

De acuerdo con lo observado se debe comprender que el diseño es complejo, siendo poco probable que cualquier método muy simple, pueda proporcionarnos un diseño adecuado.

El proyectista deberá prever que el pavimento soportara un gran número de aplicaciones de carga, de magnitud variable y movimientos de rotación y de fricción provocados por el tránsito que circulara en ese camino.

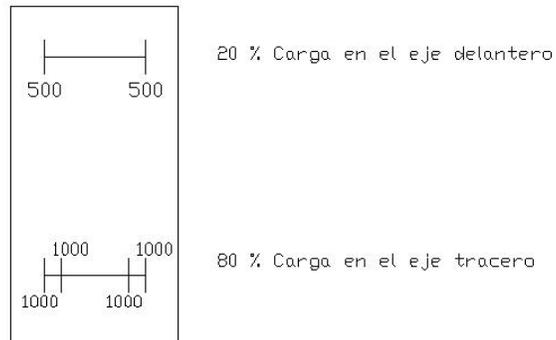
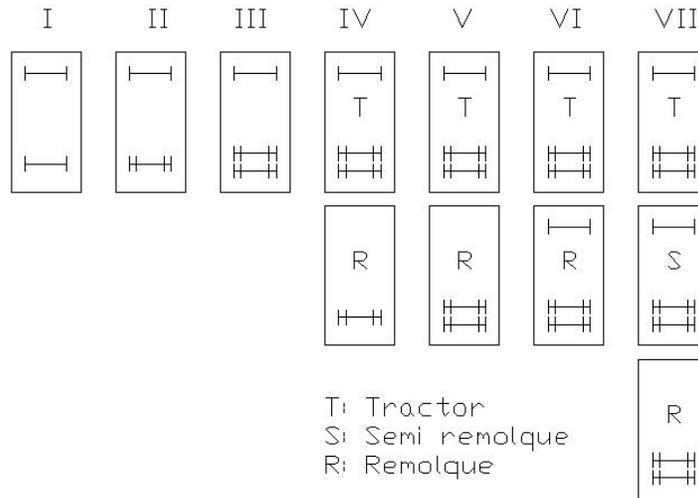
Los métodos de diseño desarrollados hasta la fecha, están lejanos de ser satisfactorios, se puede decir que no existe uno al que no se le realicen objeciones del tipo teórico, esta es la causa por lo que las especificaciones respecto a la calidad de los materiales del pavimento resultan rigurosas, se supone que si tenemos un proceso constructivo correcto. Se puede garantizar un buen comportamiento del pavimento.

En general los métodos de diseño actualmente en uso son de tres tipos:

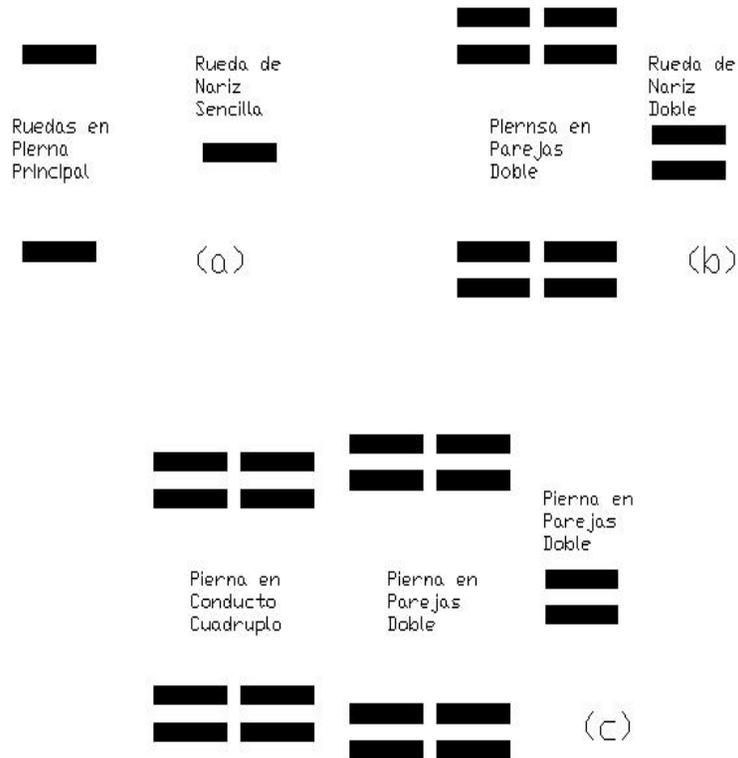
- a) Métodos con base teórica como el desarrollado por la armada de los EE.UU.
- b) Métodos Semi- empíricos: que aplican resultados de una teoría y de cierta prueba de laboratorio específica, métodos como el MC. Leod, Hveem y del valor relativo de soporte (V. R. S.) pertenecen a este tipo.
- c) Métodos empíricos: apoyados en la observación y la experiencia como el de la agencia federal de aviación (FAA.).

En la República Mexicana en 1940 se adoptaron las curvas de proyecto del cuerpo de Ingenieros de los EE.UU. que en distintas ocasiones se han modificado de acuerdo con las características de los vehículos en cuanto a volumen y cargas. Con la última modificación se trabaja con cuatro curvas correspondientes al tránsito promedio diario anual, en el carril de diseño. Se ha observado que con este método el espesor del pavimento para tránsito pesado muy grandes pueden resultar escaso o sub diseñado y para tránsitos ligeros con un diseño sobrado.

## **EVOLUCIÓN DE LOS VEHÍCULOS**



Peso promedio que carga un eje dual



*Diferentes arreglos del tren de aterrizaje en una aeronave*



## TEORÍAS DE BOUSSINESQ Y BURMISTER

Los métodos de diseño empleados en pavimentos son de tipo empírico, pues no se ha podido particularizar en forma técnica una fórmula de diseño general, donde abarquetodas las variables que afectan el comportamiento de la estructura.

Los estudios teóricos sobre la distribución de esfuerzos, tienen como punto de partida la teoría de Boussinesq, la cual nos proporciona una idea de como se comporta el suelo cargado, ya que su comportamiento es diferente a lo analizado en la teoría, puesto que los suelos no son homogéneos (cuerpos cuyas partes integrantes tienen igual naturaleza), elásticos (propiedad que tienen los cuerpos de recobrar su forma, cuando deja de obrar las fuerzas que los modificaban), ni isótropos (cuerpos cuyas propiedades físicas son idénticas en todas direcciones) como se supone, además las cargas no son estáticas sino dinámicas y en diferentes sentidos.

Además si solo se considera la distribución vertical de esfuerzos en un pavimento, este no indica ninguna de las condiciones que resulten de una falla presentada por el levantamiento del pavimento adyacente. Por otra parte la sola consideración de esfuerzos cortantes no indica las fallas debidas a la consolidación, se debe tener una idea de ambos casos para conocer la razón de la falla.

Por esta causa y debido a la complejidad del suelo que es de lo que están constituidos principalmente los pavimentos, los esfuerzos reales solo se pueden estimar y no tener una certeza total.

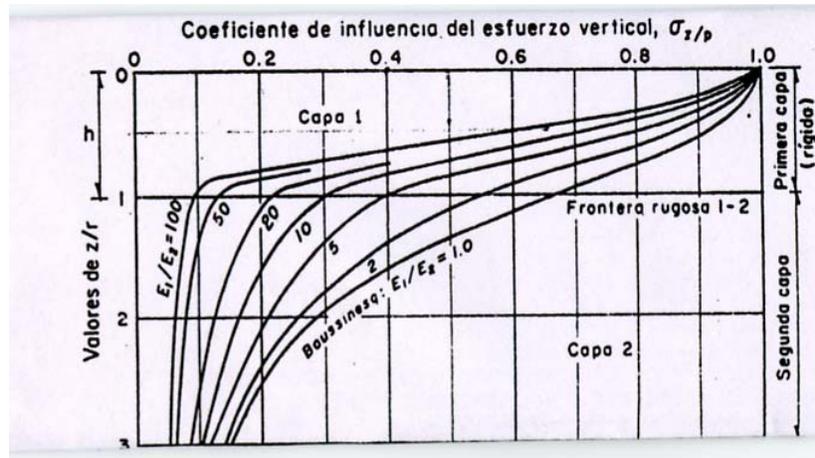
### **ESFUERZOS EN MASAS HOMOGÉNEAS**

La distribución de esfuerzos verticales bajo una carga concentrada (que es como se considera la carga en un neumático) en cualquier plano horizontal situado bajo esta fuerza, toma la forma parecida a una campana en donde los esfuerzos máximos ocurren sobre un plano vertical que pasa por el punto de aplicación de la carga. La presión es máxima a poca profundidad y teóricamente se hace nula en el infinito, pero por cuestiones prácticas en pavimentos se considera que es cero a una profundidad finita.

### **ESFUERZOS EN SISTEMAS FORMADOS POR CAPAS**

Un pavimento difícilmente cumple lo analizado por Boussinesq, dada la rigidez diferente que presenta cada capa, además no son homogéneas, tampoco isótropas y en consecuencia los esfuerzos y deformaciones reales se apartan de lo obtenido con la teoría de Boussinesq, aunque su distribución si es como el la supone.

Los principales problemas al momento de proyectar un pavimento resultan muy semejantes a lo que se vio en mecánica de suelos, presentando como factores principales resistencia y deformación, para obtener los espesores adecuados se requiere conocer la distribución de esfuerzos en la estructura originadas por las cargas impuestas por tránsito



Distribución de esfuerzos en un pavimento (teoría de la bicapa)

Nota: el esfuerzo de acuerdo con la teoría de Boussinesq donde  $E_1/E_2=1$  el 32% del esfuerzo lo absorbe el pavimentos (primera capa) y el 68% restante la terracería.

Y en el caso de la teoría de Burmister (teoría de la bicapa)  $E_1/E_2=100$  el 90% del esfuerzo lo soporta el pavimento y el resto la segunda capa.

Si se cumpliera la teoría de Boussinesq. Para el caso de un pavimento, las capas que conforman el camino tendrían fallas prematuras.

Boussinesq basándose en la teoría de la elasticidad derivó la fórmula para calcular la distribución de esfuerzos inducidos por una carga superficial concentrada, para este caso el suelo será ideal y se empleará la siguiente ecuación.

$$\zeta = \delta E$$

$\zeta$  = ESFUERZO

$\delta$  = DISTANCIA RADIAL

E = MODULO DE ELASTICIDAD



De acuerdo con esto el esfuerzo normal que se aplica sobre una partícula situada a una profundidad  $Z$  medida a partir de la superficie y a una distancia de  $r$  de la carga concentrada es :

$$\sigma_z = K \frac{P}{Z^2}$$
$$K = \left( \frac{3}{2\pi} \right) - \left( \frac{1}{\left( 1 + \frac{r}{z} \right)^{\frac{5}{2}}} \right)$$

La estructura de un pavimento se diseña basándose en los **módulos de elasticidad** de los materiales empleados (**E**) que presentan valores menores a mayor profundidad, si la ecuación anterior diferenciamos y la integramos se obtiene lo siguiente.

Esfuerzo en  $Z$

$$\sigma_z = p \left[ 1 - \frac{Z^3}{(a^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}} \right]$$

Burmister planteó el problema de distribución de esfuerzos y desplazamientos, en un sistema no homogéneo formado por capas de material de distinta calidad, cada una de ellas homogénea, isótropa y linealmente elásticas; la primera capa es infinita horizontalmente pero tiene un espesor definido verticalmente (pavimento) y la siguiente capa de material hacia abajo se considera Semi- infinita en ambas direcciones (terracería).

Los esfuerzos obtenidos por Burmister se encuentran en función de la resistencia que presentan las capas, de acuerdo con las características de los materiales empleados, los cuales presentarán diferentes **módulos de elasticidad** (**E**) considerando dos capas la relación de módulos de elasticidad se puede expresar por la siguiente relación  $E_1 / E_2$  que corresponden al módulo de elasticidad de la base ( $E_1$ ) y el de la subrasante ( $E_2$ ) siendo el valor de  $E_1 \gg E_2$ .

Esta teoría en términos generales considera lo siguiente: los pavimentos flexibles están constituidos por capas de suelos que varían su módulo de elasticidad (a mayor profundidad menor módulo de elasticidad y viceversa) con esto se reducen los esfuerzos y las deformaciones, haciéndolos menores que los obtenidos con la teoría de Boussinesq.

Las deformaciones obtenidas por Burmister pueden determinarse empleando las siguientes ecuaciones:

Para placa rígida 
$$\Delta = 1.18 \frac{P^* a}{E_2} F_2$$

Cuando se emplean placas de acero de diferentes diámetros y 2.54 cm. de grosor

Para placa flexible 
$$\Delta = 1.5 \frac{P^* a}{E_2} F_2$$

Cuando se está analizando el esfuerzo provocado por el neumático

Dónde:

$\Delta$  = Déformation unitaria

p = Presión unitaria aplicada

a = Radio de contacto

$E_2$  = Modulo de elasticidad de la capa inferior (subrasante)

$F_2$  = Factor de elasticidad entre la capa superior y la subrasante que depende de las relaciones  $z/a$  y  $r/a$ . (valor a dimensional que está en función del radio de contacto y del espesor de la capa analizada z).

En la figura se muestran los valores de **f** (factor de elasticidad) para diferentes relaciones de profundidad y módulos de elasticidad.

Para su empleo se requiere conocer el módulo de elasticidad de los materiales de la subrasante y el pavimento, lo cual se logra generalmente por medio de una prueba de placa.



***Realización de la prueba de placa***



---

#### PRUEBA DE PLACA.

---

Se efectúa para valuar la capacidad portante de la sub rasante, la base y en ocasiones de todo el pavimento, se emplea para el diseño de pavimentos rígidos y flexibles.

Consiste en cargar una placa circular de acero con un espesor de 2.54 centímetros en contacto estrecho con el suelo para analizar, midiendo las deformaciones correspondientes a diferentes cargas, colocando otras placas de diámetro menor en la parte superior para formar una pirámide y evitar la flexión. Frecuentemente en contacto con el suelo se emplean una placa que presente un diámetro parecido al de la huella que dejara el neumático del vehículo tipo con el que se está analizando o diseñando la estructura, la carga se transmite por medio de un gato hidráulico y la reacción generalmente se logra con vehículos pesados o cargados., las deformaciones de la placa inferior se mide en puntos opuestos ortogonalmente, con extensómetros ligados a un puente, cuyo apoyo se coloca lejos de la placa (de 2.0 a 2.5 metros) para poderlo considerar fijo y con esto evitar malas lecturas inducidas por la deformación de la placa.

Con esta prueba se calcula el módulo de reacción de la capa de material que se esté analizando.

***Ejemplo:***

Se construyó una sub rasante sobre la terracería compactándola al grado que marca el proyecto y sobre de ella se efectuó una prueba de placa la cual tiene un diámetro de 30 pulgadas con los siguientes resultados, para una deformación de 0.2 pulgadas se requirió una presión de 15 psi. Con esto determinar el módulo de elasticidad ( $E_2$ ) de la sub rasante.

Sobre esta capa se edificara una base de 8.0 pulgadas de espesor compacto y una vez terminada se efectuó otra prueba de placa, en la que para la misma deformación aceptada de antemano se requirió de una presión de 30 psi. Obtener la relación de módulos de elasticidad y  $E_1$  (módulo de elasticidad de la base).

Se considera que sobre estas capas circularan vehículos cuyos **neumáticos** cargarán un peso de 22 000 libras con una presión de inflado de 80 psi. Decir si el espesor propuesto para la base es suficiente.



**PROCEDIMIENTO:**

Se procede a calcular el módulo de elasticidad de la subrasante empleando la fórmula de placa rígida puesto que esta es la característica que presenta la placa de acero con la que se realiza la prueba.

$$\Delta = 1.18 \frac{P * a}{E_2} f_2$$

Datos

- $\Delta$  = 0.2 pulgadas
- P = 15 psi.
- $\emptyset$  de la placa = 30 pulgadas
- a = 15 pulgadas

Se supone que la terracería es infinita tanto horizontal como verticalmente y al momento de realizar la prueba aun no se coloca ningún otro material sobre de ella que le provoque un plano rugoso, se considera que  $f$  es igual a uno (1) por no tener una capa de material diferente arriba ni debajo de la subrasante se considera como un solo material y no existe la relación  $\frac{Z}{a}$  y  $\frac{r}{a}$  por lo tanto no podemos ingresar al nomograma

Sustituyendo

$$0.2 = 1.18 \frac{15_{psi} * 15" * 1.0}{E_2}$$

Despejando

$$E_2 = \frac{1.18 * 15_{psi} * 15" * 1.0}{0.2"}$$

Résulta  $E_2 = 1327.5 \text{ psi.}$

Obtener la relación de modulos de elasticidad  $E_2/E_1$  con los datos obtenidos de la prueba de placa realizada en la base.



$$0.2'' = \frac{1.18 * 30_{psi} * 15''}{1327.5_{psi}} f$$

$$f = \frac{1327.5_{psi} * 0.2'' * 15''}{1.18 * 30_{psi}}$$

Resultado  $f = 0.5$  este dato se ubica en el eje de las **Y** de la figura.

Para encontrar el otro valor del nomograma en el eje de las **X** se emplea la relación  $\left(\frac{Z}{a}\right)$

$$\frac{Z}{a} = \frac{8.0''}{15''} = 0.53 \dots \text{eje X} \quad \text{En la figura.}$$

Se busca en el nomograma la relación de módulos de elasticidad, entrando en el mismo con los valores obtenidos anteriormente, para este caso la curva encontrada fue **1/50**.

Por lo tanto

$$\frac{1}{50} = \frac{1327.5}{E_1}$$

$$E_1 = 1327.5 * 50 = \mathbf{66\ 375\ psi.}$$

Analizar si el espesor de la base es suficiente, basándonos en la rueda de diseño.

$$\begin{aligned} P &= 22\ 000 \text{ libras} \\ p &= 80.0 \text{ psi.} \\ a &= ? \end{aligned}$$

Se obtiene el radio de contacto de la llanta para aplicar la fórmula de placa flexible, por tratarse ahora de un neumático el que está ejerciendo la carga y la presión sobre el pavimento.

Se considera que la llanta de la huella de forma circular (esto con la finalidad de facilitar los cálculos) y se obtiene con la siguiente expresión.

$$Area(A) = \frac{Carga(P)}{Presión(p)}$$



$$\pi r^2 = \frac{P}{p} r^2 = \frac{P}{p\pi} r = \sqrt{\frac{P}{p\pi}}$$

$$r = \sqrt{\frac{20000}{80\pi}} = 9.92'' \text{ Se considera que } r = a$$

Se emplea la fórmula de la placa flexible por tratarse de un neumático.

$$\Delta = 1.5 \frac{P * a}{E_2} f_2 \quad \text{Sustituyendo valores:}$$

$$0.2'' = \frac{1.5 * 80_{psi} * 8.92''}{1327.5_{psi}} f_2$$

Despejando:

$$f = \frac{1327.5_{psi} * 0.2''}{1.5 * 80_{psi}} 8.92'' = 0.248$$

En el nomograma se ubica este valor en el eje de las ordenadas y de ahí se traza una recta hasta cortar la curva encontrada anteriormente (1/50) en el sitio de corte se traza una recta hacia el eje de las abscisas donde se tendrá el espesor necesario de base que para este caso es de: 1.2 a por lo tanto  $H = 1.2 \times 9.92''$

Para este tipo de esfuerzo  $H = 11.904''$  por consiguiente el espesor propuesto en la base no es el adecuado.

En realidad el espesor anterior debe verse únicamente como una estimación, pues solo por casualidad el cálculo coincidirá con el espesor propuesto para satisfacer los valores reales se recomienda construir terraplenes de prueba con un espesor de  $2/3$  de H,H y 1.5 H.

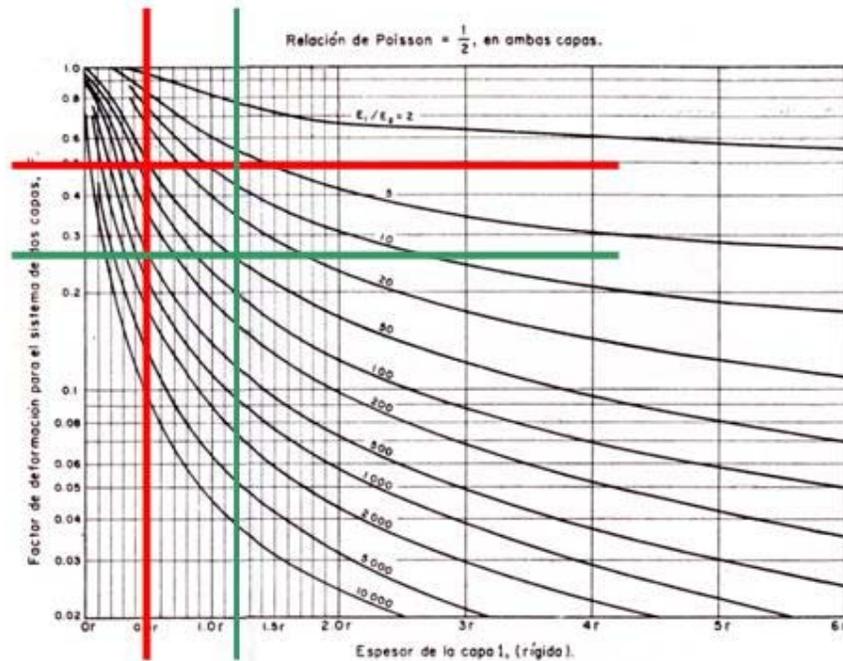


FIG. II-21. Factores de deformación para un sistema de dos capas

Los cálculos de Boussinesq y Burmister, han permitido obtener algunos resultados de interés en lo que se refiere a la transmisión de esfuerzos verticales en el interior de un pavimento, por ejemplo: si se tienen dos llantas con la misma presión de inflado pero con cargas diferentes, la de mayor carga transmite esfuerzos mayores a profundidades mayores.

Dos neumáticos con la misma carga, pero diferente presión de inflado transmite esfuerzos muy distintos en zonas próximas la superficie de rodaje, pero los efectos tienden a igualarse a mayor profundidad.

El esfuerzo transmitido por cualquier llanta en zonas muy próxima al apoyo de la misma, se considera siempre igual a la presión de inflado.

Se puede concluir lo siguiente: cuando se tiene un aumento en la carga se requiere de un espesor mayor de materiales seleccionados (pavimentos) mientras que un aumento en la presión de las llantas con la misma carga, requiere aproximadamente el mismo espesor pero de mejor calidad.



### **CAPACIDAD DE CARGA.**

Las fallas por esfuerzo cortante son también comunes en pavimentos flexibles, sobre todo cuando se emplean para la base y la carpeta materiales que posean poca fricción interna.

El esfuerzo cortante se puede analizar por el método de la espiral logarítmica que dice lo siguiente: la resistencia al movimiento bajo la carga es producida por la resistencia al esfuerzo cortante a lo largo de la espiral, por el peso del material fuera del área cargada y también esta en función de la cohesión.

Donde:

$r_0$  = radio inicial

$r$  = radio diferente al anterior.

$\epsilon$  = Ángulo en radianes medido entre las literales anteriores.

$\phi$  = Ángulo de fricción interna.

$e$  = base de logaritmos naturales.

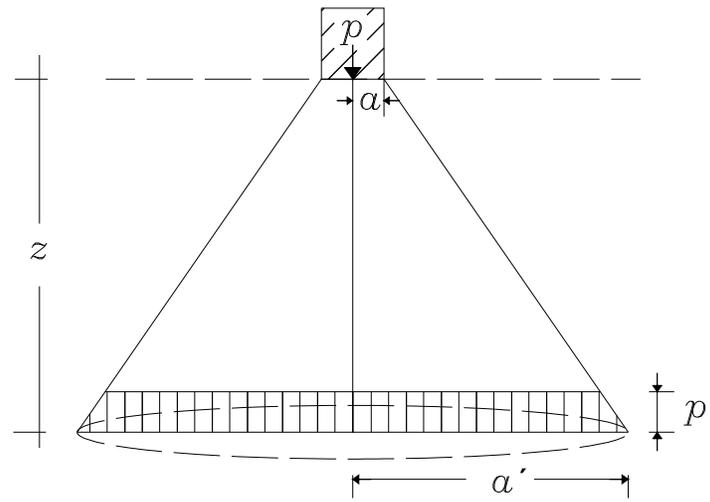
Para este método se deberán proponer diferentes valores de  $i$  para determinar cual de ellos es mas critico, es decir el de menor capacidad de carga.

Terzaghi propuso la siguiente ecuación para calcular la capacidad de carga en un área circular.

$$P'' = CF_c + z\gamma_1 F_q + \gamma a' F_\gamma$$

Dicha ecuación nos permite estimar la capacidad de carga a una profundidad  $Z$  bajo la superficie cargada. La presión real ( $P$ ) actuando a una profundidad  $Z$  puede estimarse, suponiendo que la presión máxima se distribuye uniformemente en un círculo de radio ( $a'$ ) cuyo valor necesario para el equilibrio esta dado por la siguiente expresión.

$$a' = \sqrt{\frac{P}{p'}} a^2$$



- $p$  = Presión aplicada
- $p'$  = Presión en el centro a una profundidad  $z$ .
- $\alpha$  = Radio de contacto donde se aplica  $P$ .
- $P''$  = Capacidad de carga a la falla
- $C$  = Cohesión
- $F_c, F_q, F_\gamma$  = Factores de capacidad de carga que dependen del ángulo de fricción interna  $\phi$ .
- $Z$  = Profundidad a la cual se requiere conocer la capacidad de carga.
- $\Gamma_1$  = Peso volumétrico del material supra yacente a la profundidad en la que se está determinando la capacidad de carga.
- $\Gamma$  = Peso volumétrico del material donde se está determinando la capacidad de carga.
- $\alpha'$  = Radio del circulo donde se distribuye la presión máxima a la profundidad " $Z$ ".



*Prueba de compresión triaxial*



**Ejemplo:** Calcular la capacidad de carga de la subrasante que tiene 40.0 centímetros de espesor compacto, para determinar si es capaz de soportar sin fallar una carga de 23 000 libras, de un neumático con una presión de inflado de 120 psi. Si del resultado de ensayos triaxiales se obtuvo que tenía una cohesión de 0.5 psi. Con un ángulo de fricción interna de 20° y un peso volumétrico de 105 libras/pie<sup>3</sup>. El espesor compacto de la base es de 10" y tiene un peso específico de 133 libras/pie<sup>3</sup>, con una carpeta de 3" de espesor y un peso volumétrico de 150 libras/pie<sup>3</sup>.

Para calcular los esfuerzos hasta cierta profundidad por medio del nomograma (2.3) o de la fórmula de Boussinesq se requiere conocer el radio de contacto de la llanta ( $a$ ).

$$a = \sqrt{\frac{23000}{3.14 * 120}} = 7.81''$$

La fórmula de Boussinesq para calcular el esfuerzo a diferentes profundidades solo se emplea cuando la carga en el neumático se considera aplicada en **el centro** (formula 12)

$$\sigma_z = p \left[ 1 - \frac{Z^3}{(a^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}} \right]$$

$$\sigma_z = 120 \left[ 1 - \frac{13^3}{(7.81^2 + 13^2)^{\frac{3}{2}}} \right] = 44.41 \text{ psi.}$$

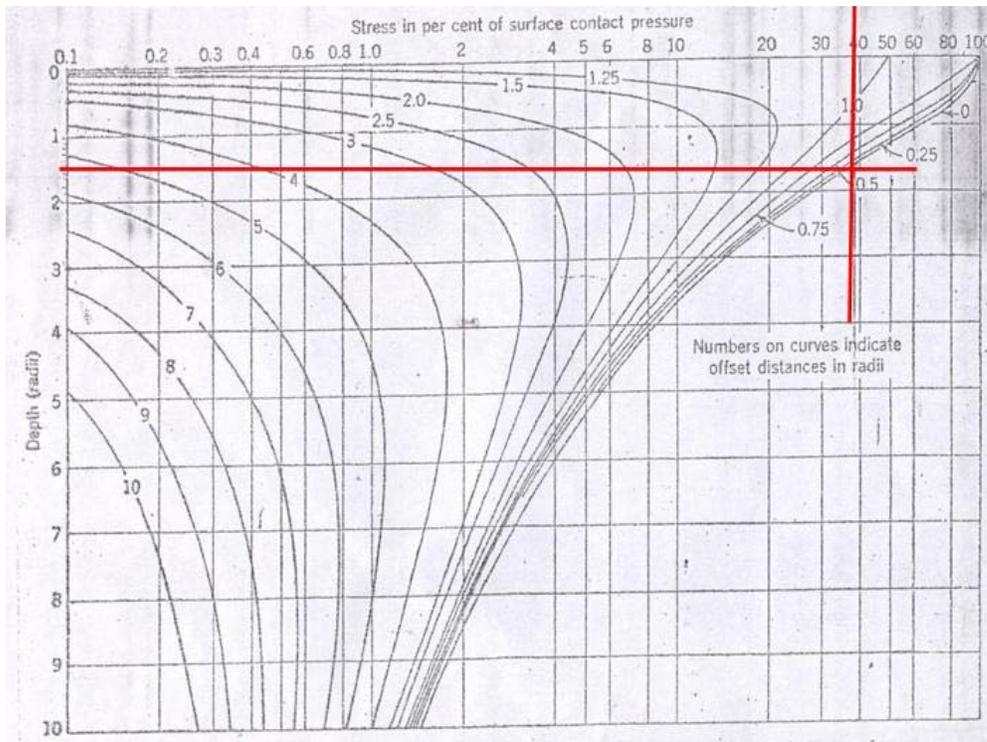
Si empleamos el nomograma de la fig., debemos calcular la relación  $z/a$  cuyo resultado se ubica en el eje de las ordenadas (Y).

$$\frac{z}{a} = \frac{13''}{7.81''} = 1.66$$

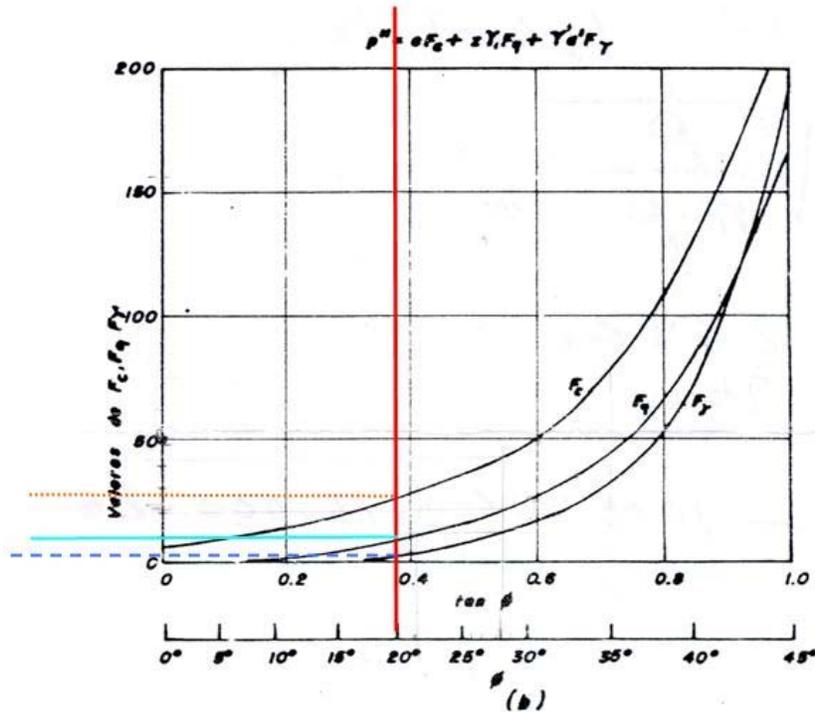
Lo siguiente consiste en ubicar que curva de la gráfica emplearemos, y para esto se usa la relación  $r/a$  aplicando la carga máxima. En este caso se considerara al centro del neumático por tanto  $r=0$ , la curva por emplear es **cero**. El esfuerzo ( $p'$ ) la ubicamos en la parte superior del eje de las abscisas en porcentaje, encontrando para este caso un valor del 39%.

$p' = 0.39 * 120_{psi} = 46.8_{psi}$  El cual es muy semejante al obtenido,  
anteriormente con la ecuación de Boussinesq.

**Nota:** los valores del nomograma se pueden aplicar para encontrar el esfuerzo en cualquier punto donde este aplicada la carga.



**Nomograma para calcular los esfuerzos a diferentes profundidades cuando la carga no se aplica en el centro**



**Nomograma para calcular  $F_c, F_q, F_\gamma$**

Conocido el esfuerzo a la profundidad deseada aplicamos la fórmula de Terzaghi para carga circular.

$$p'' = cF_c + Z\gamma_1 F_q + \gamma_a' F_\gamma$$

De esta fórmula no se conocen los valores de  $F_c, F_q, F_\gamma$ . Los cuales dependen del ángulo de fricción interna de material, y obtendremos sus valores de acuerdo con la grafica.

Teniendo el ángulo de fricción  $\phi = 20^\circ$  tendremos que:  $F_c = 25, F_q = 11, F_\gamma = 4$ , tampoco conocemos ( $a'$ ), la cual deducimos con la expresión correspondiente:

$$a' = \sqrt{\frac{p}{p'}} a^2$$

Nota: para encontrar el valor correcto emplearemos el valor obtenido por la fórmula de Boussinesq que es más exacto.



$$a' = \sqrt{\frac{120}{44.41}} 7.81^2 = 12.83''$$

Teniendo todos los elementos aplicamos la fórmula de Terzaghi.

$$p'' = cF_c + Z\gamma_1 F_q + \gamma_a F_\gamma$$

$$p'' = 0.5_{psi} * 25 + 13'' * 133 \frac{lb}{pie^3} * 11 + 105 \frac{lb}{pie^3} * 12.83 * 4 =$$

$$p'' = 12.5 + 19019 + 5388.6 =$$

$$p'' = 12.5 + \frac{19019}{1728} + \frac{5388.6}{1728} =$$

$$p'' = 12.5 + 11.00 + 3.11 = 26.21_{psi}$$

Uniformizar las unidades y convertir los pies<sup>3</sup> a pulgadas para lo cual dividiremos los dos últimos elementos de la fórmula entre 1728.

$$1 \text{ pie} = 12'' \text{ entonces } 1 \text{ pie}^3 = 12^3 = 1728''$$

### Conclusión:

Dado que el esfuerzo a esa profundidad es de **44.41 psi**, es mayor a la capacidad de carga que tiene la sub rasante (**26.21 psi**). Se concluye que la capacidad de carga de dicha capa no es suficiente para soportar el esfuerzo que se le transmite. Algunas de las alternativas de solución al problema es aumentar el espesor de la capa, o mejorar las características de calidad del material.



CARGAS EQUIVALENTES (MÉTODO DE IGUALES DEFORMACIONES).

El tránsito que circula por un pavimento es sumamente variado en lo que se refiere al tipo de vehículos, ningún método de diseño toma en cuenta tanta complejidad de un modo absoluto, se hecho el diseño se realiza por el efecto de una carga transmitida por una sola rueda. Para esto lo primero es seleccionar un vehículo representativo del tránsito que circula por el camino, este es generalmente el más frecuente o el más pesado, se requiere establecer una equivalencia entre el arreglo de llantas de dicho transporte y una suela rueda ideal que lo substituya racionalmente en lo que se refiere a efectos sobre el pavimento a esto se le conoce como **rueda de diseño**.

Para llegar a dicha rueda se ha seguido dos criterios, buscar la rueda simple que nos produzca a una cierta profundidad los mismos efectos que el sistema dual o de un mayor número de ruedas del vehículo real o bien que produzca las mismas **deflexiones** que el sistema, siendo quizá este último el más empleado.

De acuerdo con la Teoría de Boussinesq se puede establecer un criterio de equivalencia, ya que según esta el esfuerzo en cualquier punto bajo una carga circular uniformemente repartida depende de tres variables que son: la profundidad ( $Z$ ) el radio de contacto ( $a$ ) y la presión de inflado de la llanta ( $p$ ). Para diferentes cargas  $P$  los efectos de diferentes llantas de misma presión de inflado dependen de la relación  $Z/a$ , para puntos con la misma relación anterior los esfuerzos son iguales independientemente de las cargas, siempre que la presión de inflado sea la misma.

Para una presión constante y un esfuerzo permisible dado se puede emplear la siguiente expresión:

$$\frac{Z}{a} = K'$$

Dónde:

$K'$  Constante.  
 $a$  Radio de contacto de la rueda.

$$a = \sqrt{\frac{P}{\pi * p}}$$

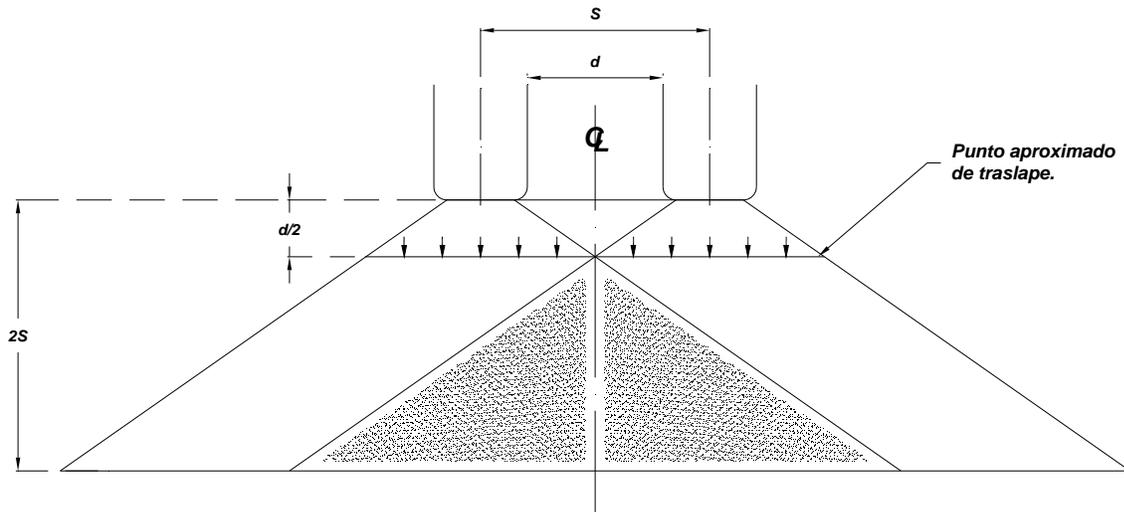
$P$  Carga sobre la rueda.  
 $p$  Presión de inflado de la rueda.

Sustituyendo  $a$  en la ecuación anterior nos queda:

$$Z = K' \sqrt{P\pi} \times \sqrt{P}$$

La ecuación anterior nos indica, que el espesor del pavimento flexible esta función del esfuerzo permisible en el suelo y de la presión de inflado de la llanta.

Si analizamos la **figura** se puede considerar lo siguiente.



**INFLUENCIA DE LAS LLANTAS MÚLTIPLES EN LAS PRESIONES.**

El efecto de los esfuerzos sobre el pavimento producidos por ruedas dobles pueden originarse por una rueda sencilla por lo siguiente: se observa que cerca de la superficie las ruedas actúan independientemente, traslapándose su efecto a cierta profundidad que es  $d/2$ . Al mismo tiempo que disminuye con la profundidad el valor del esfuerzo hasta tener una profundidad tal que el traslape de esfuerzos resulta despreciable y se considera igual a  $2S$ .

Dónde :

$S$ = distancia centro a centro de neumáticos.

$d$ =distancia interna entre ruedas.

Si se analiza la figura y las ecuaciones anteriores se puede concluir lo siguiente:

Las deformaciones bajo una rueda sencilla y para un conjunto de ruedas dobles, se pueden determinar con las siguientes expresiones.



Rueda sencilla 
$$\Delta_1 = \frac{P * a_1}{E_2} * f_1$$

Rueda doble 
$$\Delta_2 = \frac{P * a_2}{E_2} * (f'_1 + f'_2)$$

Dónde:

- $\Delta_1$  Deformación bajo rueda sencilla.
- $\Delta_2$  Deformación bajo rueda doble.
- $p$  Presión de inflado de la llanta.
- $a_1$  Radio de contacto de la rueda sencilla.
- $a_2$  Radio de contacto de cada una de las ruedas.
- $f_1$  Factor de asentamiento de la rueda sencilla.
- $f'_1$  Factor de asentamiento de una de las ruedas dobles.
- $f'_2$  Factor de asentamiento de la otra rueda doble.

Para encontrar la carga sencilla que nos produzca el efecto de las ruedas dobles basados en el criterio de iguales deformaciones es necesario hacer la igualación  $\Delta_1 = \Delta_2$

$$\frac{P * a_1}{E_2} * f_1 = \frac{P * a_2}{E_2} * (f'_1 + f'_2)$$

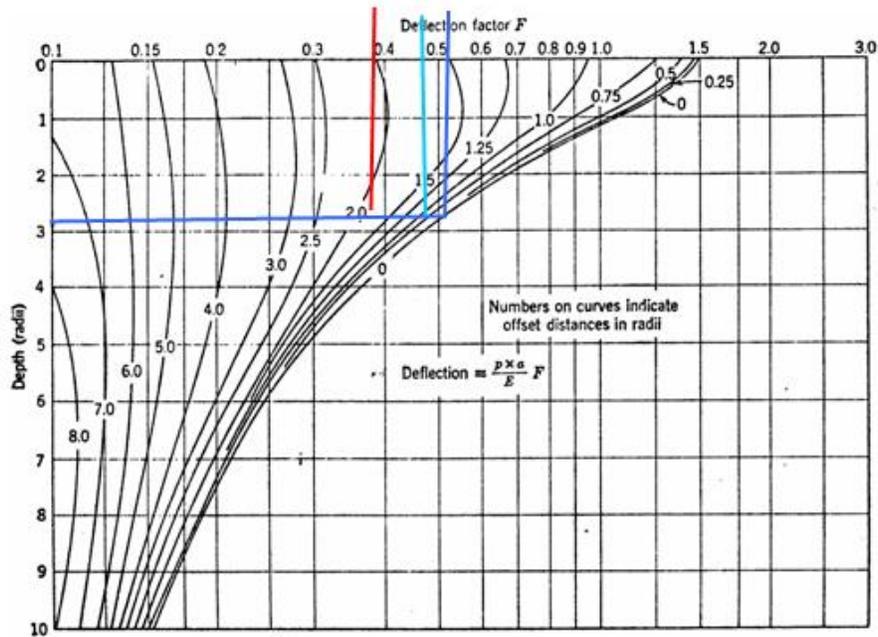
Sustituyendo  $a_1$  y  $a_2$

$$\sqrt{\frac{P_1}{p\pi}} * f_1 = \sqrt{\frac{P_2}{p\pi}} * (f'_1 + f'_2) \quad P_1 \text{ carga sobre rueda sencilla}$$

$$\text{Por lo tanto } \sqrt{P_1 f_1} = \sqrt{P_2 (f'_1 + f'_2)} \quad P_2 \text{ carga de cada rueda doble.}$$

$$f'_1 = \left[ \begin{array}{c} Z \\ a \\ r \\ a \end{array} \right] \quad f'_2 = \left[ \begin{array}{c} Z \\ a \\ r \\ a \end{array} \right]$$

El factor de asentamiento  $f'_1$  se determina siempre **bajo el centro** de la rueda sencilla, para calcular  $f'_1$  y  $f'_2$  se requiere para su determinación la distancia radial en donde se produzca la suma máxima de los factores de asentamiento.



Nomograma para obtener el factor de deflexión en los neumáticos para obtener las cargas equivalentes

Ejemplo: determinar la carga por rueda equivalente siguiendo el criterio de iguales deformaciones para un pavimento de 20 pulgadas de espesor ( $Z$ ), en un conjunto de ruedas dobles espaciadas 13.5 pulgadas centro a centro ( $S$ ), que soportan cada una 15,000 libras ( $P$ ) con una presión de inflado ( $p$ ) de 100 psi.

Datos:

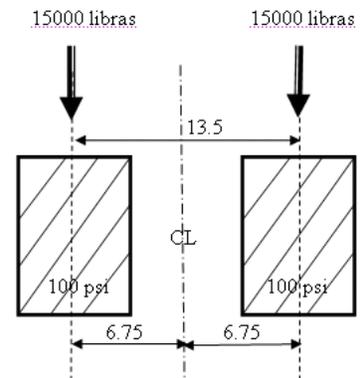
$P = 15000$  libras

$p = 100$  psi

$S = 13.5$  pulg.

$Z = 20.0$  pulg.

$P_1 = ?$





$$a = \sqrt{\frac{P_1}{p\pi}} = \sqrt{\frac{15000}{100\pi}} = 6.91 \text{ pulgadas.}$$

$$\frac{z}{a} = \frac{20}{6.91} = 2.89 \quad \text{Eje de las ordenadas (Y)}$$

Analizando la Carga bajo el centro de la llanta izquierda que llamaremos rueda uno (1)

$$f'_1 = \left[ \begin{array}{l} \frac{z}{a} = 2.89 \\ \frac{r_o}{a} = \frac{0}{6.91} = 0 \end{array} \right] = \frac{\text{eje } y}{\text{curva } 0} \quad f'_1 = 0.52$$

$$f'_2 = \left[ \begin{array}{l} \frac{z}{a} = 2.89 \\ \frac{r_o}{a} = \frac{13.5}{6.91} = 1.95 \end{array} \right] = \quad f'_2 = 0.39$$

$$\Sigma = 0.91$$

Analizando la carga en el eje de simetría del sistema de neumáticos.

$$f_1 = \left[ \begin{array}{l} \frac{z}{a} = 2.89 \\ \frac{r_o}{a} = \frac{6.75}{6.91} = 0.98 \end{array} \right] = \quad f_1 = 0.46$$

$$f_2 = \left[ \begin{array}{l} \frac{z}{a} = 2.89 \\ \frac{r_o}{a} = \frac{6.75}{6.91} = 0.98 \end{array} \right] = \quad f_2 = 0.46$$

$$\Sigma = 0.92$$

Con lo cual se observa que no importa el sitio donde se analice el sistema la sumatoria de los factores de deflexión ,debe ser casi igual, solo cambio un poco por cuestiones de apreciación en el nomograma.

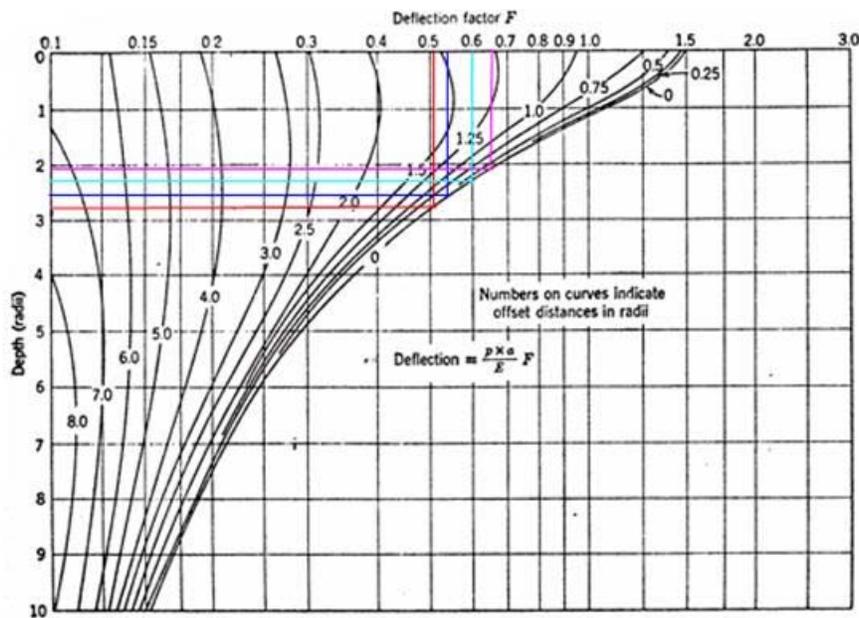
Se realiza la operación de igualar ambas deformaciones de los neumáticos (según la fórmula  $P_2$  carga de rueda doble), al realizar esta nos proporciona un valor que servirá de referencia, para encontrar la carga equivalente.

$$\sqrt{P_2(f'_1 + f'_2)} = \sqrt{15000(0.90)} = 110.23 \text{ número a dimensional}$$

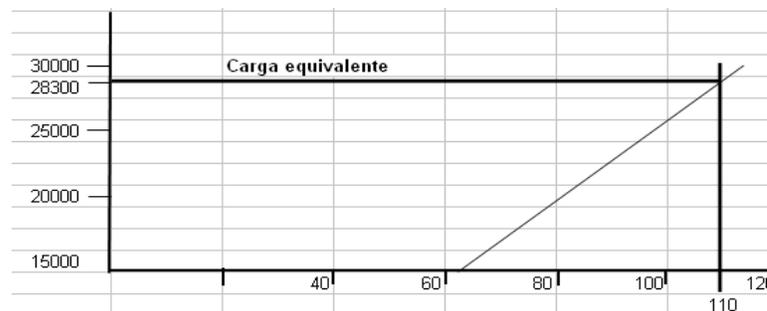


Se realizara una gráfica para calcular la carga equivalente y para su obtención se considerara que la presión de inflado será constante (para este caso es de 100 psi), que el radio de influencia  $r$  siempre será cero para trabajar sobre una curva definida (en este caso es la curva cero) y la profundidad  $Z$  es constante (para este ejemplo  $z$  igual a 20 pulgadas).

$P_1$	$a$	$z/a$	$r/a$	$f_1$	$\sqrt{P_1}$	$\sqrt{P_1 f_1}$
15000	6.91	2.89	0	0.50	122.47	61.24
20000	7.98	2.51	0	0.53	141.42	74.95
25000	8.92	2.24	0	0.60	158.11	94.87
30000	9.77	2.05	0	0.66	173.21	114.32



Factor de deflexión



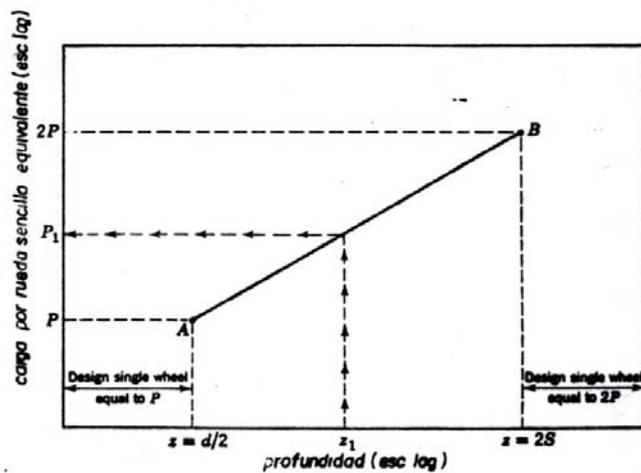
Gráfica para obtener la carga equivalente

## MÉTODO GRAFICO DEL CUERPO DE INGENIEROS DE LOS EE.UU.

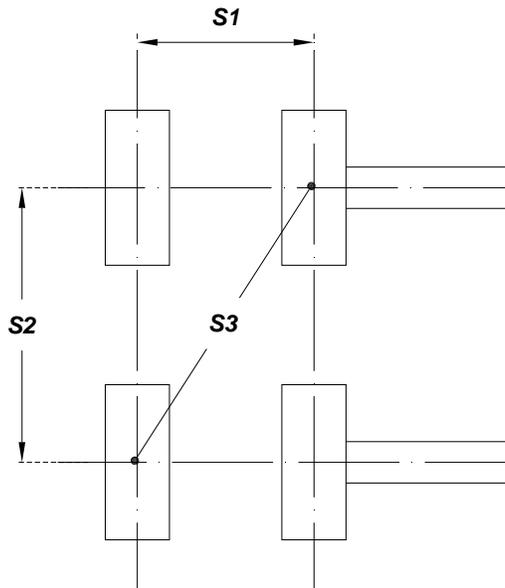
La variación lineal entre profundidades  $d/2$  y  $2S$ , permite obtener una relación para determinar la equivalencia entre las ruedas dobles, la solución grafica que nos proponen es la siguiente.

Se tiene los esquemas a escala logarítmica, teniendo en el eje de las ordenadas las cargas ( $P$ ) y en las abscisas las profundidades ( $z$ ).

Se ubica el punto **A** con los siguientes valores ( $d/2, P$ ) y los de **B** ( $2S, 2P$ ), se traza una recta que una ambos puntos. Conocido el espesor supuesto del pavimento ( $Z$ ) se ubica en las abscisas, de ahí se lleva una recta paralela al eje de las ordenadas hasta cortar la línea A-B, donde se obtendrá la lectura de la carga equivalente.



Dicho método tiene la ventaja de permitirnos encontrar rápidamente la equivalencia de ejes dobles a sencillos, solamente conociendo la separación y distancias entre ejes y ruedas y adaptado los valores  $d$  y  $S$  a la geometría del problema.



**S1= Distancia Mínima.**  
**S2= Distancia Eje a Eje.**  
**S3= Distancia Máxima.**

**Coordenadas.**  
**A ( S1 , 2P )**  
**B ( S3 , 4P )**

A partir de este conocimiento la AASHTO determino que es lo más conveniente expresar la equivalencia de cargas en función de una carga de diseño, valuando el daño que cada carga infiere en el pavimento, cuando es aplicada y haciendo la evaluación para cada vehículo, llevando todos estos valores a la equivalencia del eje de **18 000 libras (8200 kilogramos)**.

Para el método de la armada de los EE.UU. (**Navy**) la carga equivalente se obtiene con la siguiente expresión:

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

Dónde:

P<sub>1</sub>.-carga equivalente de la rueda de diseño

P.- carga de cada llanta del sistema dual

z.- profundidad a que se cumple la equivalencia, igual en los cálculos al espesor del pavimento.

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

S.- separación del sistema dual centro a centro.

**Ejemplo 2:** obtener la carga equivalente por el método de iguales deformaciones y del cuerpo de Ingenieros teniendo los siguientes datos. Considerando que el espesor del pavimento (Z) es de **2S**





Ahora para comprobar esta sumatoria se analizará en otro sitio, para este caso en el eje de simetría.

$$F'_1 = \left[ \begin{array}{l} \frac{63.09}{9.77} = 6.45 \\ \frac{15.77}{9.77} = 1.61 \end{array} \right] \left[ \begin{array}{l} -eje y \\ -curva \end{array} \right] \left. \begin{array}{l} 0.21 \\ 0.21 \end{array} \right\} \Sigma = 0.42$$

$$F'_2 = \left[ \begin{array}{l} \frac{63.09}{9.77} = 6.45 \\ \frac{15.77}{9.77} = 1.61 \end{array} \right] \left[ \begin{array}{l} -eje y \\ -curva \end{array} \right] \left. \begin{array}{l} 0.21 \\ 0.21 \end{array} \right\}$$

$$\sqrt{32996} * (0.42) = 78.1$$

Para encontrar la carga equivalente aplicaremos la fórmula de iguales deformaciones y el número que se encuentre nos servirá de referencia para calcular la carga equivalente.

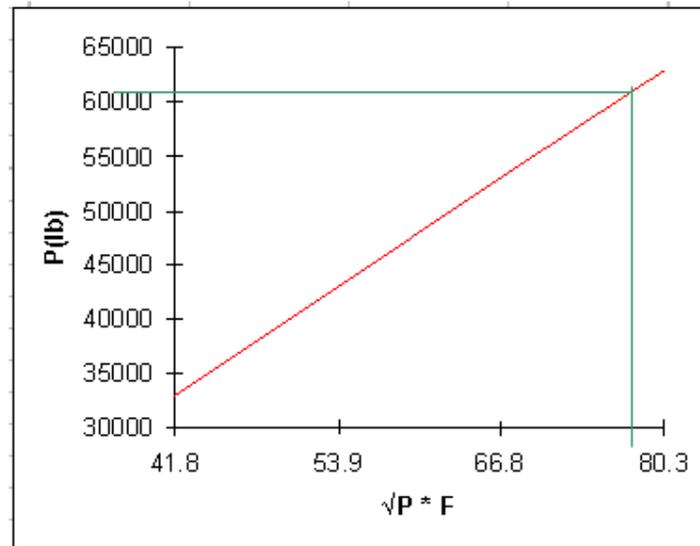
Se realizará una tabla para encontrar la carga equivalente con las siguientes consideraciones:

**Z** se acepta como constante.

La distancia radial **r** la consideraremos de cero.

La presión de inflado de la llanta (**p**) será la misma que la inicial del problema.

P (Lb)	$\alpha$ (in)	r/a	Z/ $\alpha$	F	$\sqrt{P}$	$\sqrt{P} * F$
32996	9.77	0	6.45	0.23	181.6	41.8
43000	11.15	0	5.65	0.26	207.3	53.9
53000	12.38	0	5.09	0.29	230.2	66.8
63000	13.50	0	4.67	0.32	250.9	80.3



Se grafica la carga P en el eje de las ordenadas y  $\sqrt{P * F}$  en el eje de las abscisas.

Con el valor de 78.01 obtenido anteriormente se entra a la gráfica desde el eje de las abscisas hasta cortar la gráfica (línea roja) de ahí se desplaza hasta el eje de las ordenadas y ese es el valor de la carga equivalente.

En este caso es de **61 259 Lbs.**

**Vida útil de diseño:** es generalmente adoptada para un proyecto determinado, empleándose en carreteras lapsos de 10 a 20 años en pavimentos flexibles y hasta 40 en rígidos, en los aeropuertos comúnmente es de más de 20 años, observándose actualmente que es necesario ampliar a mayores periodos la vida total del proyecto por los altos costos que implica el realizar una obra de este tipo y la necesidad tan grande que se requiere de comunicarse adecuadamente.

Tasa de crecimiento: es la manera en la que se supone se desenvolverá el factor de tránsito hasta alcanzar su volumen máximo en el periodo de proyecto.

Porcentaje de diseño: es un concepto ligado al cubrimiento que se refiere al comportamiento de los pavimentos bajo cargas repetidas en movimiento, este varía con el logaritmo del número de aplicaciones de la carga.

Mc. Dowell introdujo este concepto para el método de Texas, su ecuación está basada en el servicio observado en varias carreteras y es la siguiente.

$$\text{Número de años de vida} = 0.96 (10)^{0.01465 (\% \text{ de diseño})}$$

De acuerdo con dicha ecuación para el 100% de diseño se requieren 28 años, para el 60% 7.5 años y para el 20% el resultado es de 1.8 años. Este método permite emplear de manera económica los materiales disponibles y se aconseja cuando se construye por etapas.

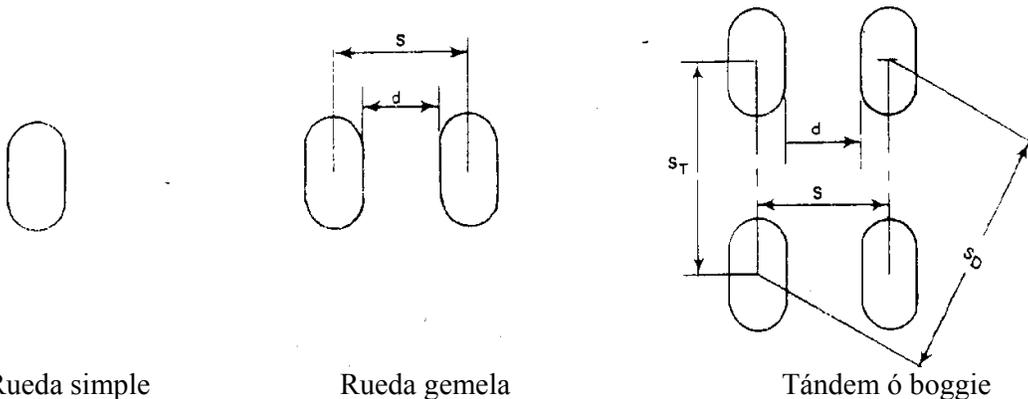
Denominaremos cubrimiento a la aplicación de la carga de proyecto sobre el pavimento.

En las aeronaves se toman en consideración los siguientes aspectos al momento de realizar el diseño estructural del pavimento:

**El peso cargado** de la aeronave de proyecto, teniendo en cuenta que aproximadamente del 90 al 95% se encuentra en el tren de aterrizaje y el resto en el tren nariz, además considerando que este valor se toma al momento que la nave despega, puesto que es cuando lleva el mayor peso por llevar lleno el tanque de combustible.

**La presión de inflado de los neumáticos:** ya que de esta manera se transmiten los esfuerzos hacia las capas del pavimento, se debe conocer el área de contacto ya que con esto se determina a la profundidad a la que se transmiten los esfuerzos. Los arreglos de rueda con gran área de contacto, suelen producir estados de esfuerzos más uniformes que los que presentan cargas más concentradas.

**El tipo de geometría del tren de aterrizaje:** que puede ser con dos, tres y cuatro piernas y los arreglos de las llantas pueden ser, rueda simple, rueda gemela arreglo en boggie (tándem).



Para fines de proyecto y evaluación del pavimento, son importantes los siguientes espaciados entre ruedas.

d.- distancia interna entre huellas de los neumáticos de ruedas gemelas.

S.-distancia entre centros de huella de las ruedas en ruedas gemelas.

S<sub>D</sub>.-distancia entre los centros más alejados de las ruedas diagonales de un sistema tándem y que se obtiene con la siguiente fórmula:

$$S_D = (S^2 + S_T^2)^{1/2}$$

S<sub>T</sub>.-distancia entre ejes del boggie



Para realizar el diseño de una pista se debe conocer: el número de aterrizajes y despegues de la aeronave de diseño, la cual comúnmente es la que requiere el mayor espesor de pavimento y puede ser la más pesada o la que más frecuencia despegue. Como en las naves se tienen diferentes trenes de aterrizaje, el método de la FAA. (Agencia Federal de Aeronáutica de los EE.UU.) recomienda homogenizar utilizando factores de conversión de orden empírico para usar un mismo tren de aterrizaje.

**FACTORES DE CONVERSIÓN PARA HOMOGENIZAR LOS DIFERENTES TIPOS DE TREN DE ATERRIZAJE**

Tren original	Tren convertido	Factor de conversión
Rueda simple	Ruedas gemelas	0.8
Rueda simple	Sistema boggie	0.5
Ruedas gemelas	Sistema boggie	0.6
Boggie doble	Sistema boggie	1.0
Ruedas gemelas	Rueda simple	1.3
Sistema boggie	Rueda simple	2.0
Sistema boggie	Ruedas gemelas	1.7
Boggie doble	Ruedas gemelas	1.7

Una vez homogenizado el tren de aterrizaje con la nave de diseño, se transforman las pasadas anuales de cada aeronave, adecuándolo a la de diseño, considerando los pesos relativos con las siguientes formulas.

$$\text{Log. } R_1 = [W_2 / W_1]^{1/2} \text{ Log. } R_2$$

$R_1$  = salidas anuales equivalentes de la nave de diseño

$R_2$  = salidas anuales de la aeronave no crítica

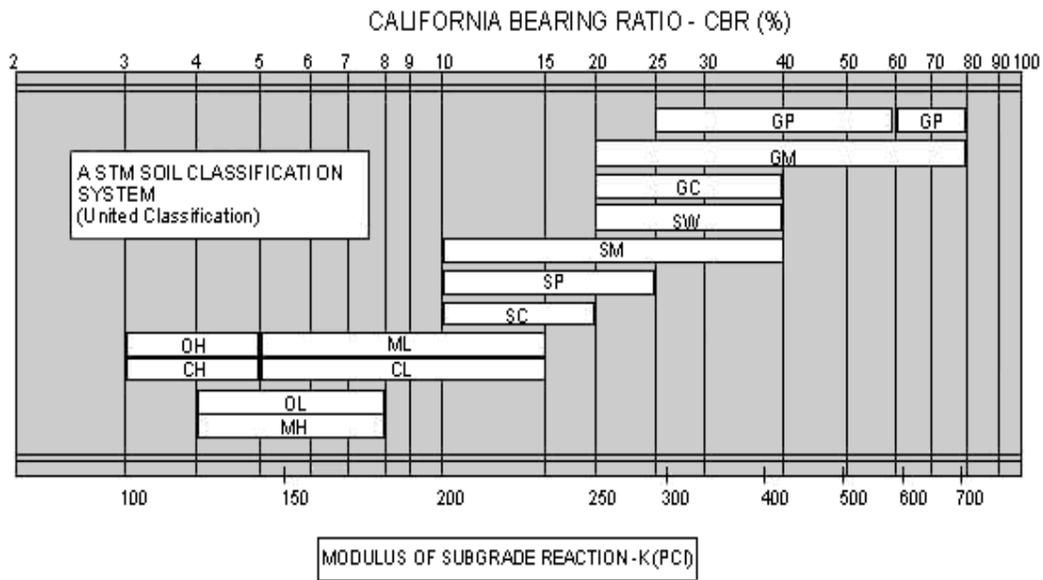
$W_1$  = carga de la rueda de la aeronave de diseño.

$W_2$  = carga de la rueda de la nave considerada.

**CARACTERÍSTICAS DE LAS AERONAVES USUALES PARA DISEÑO**

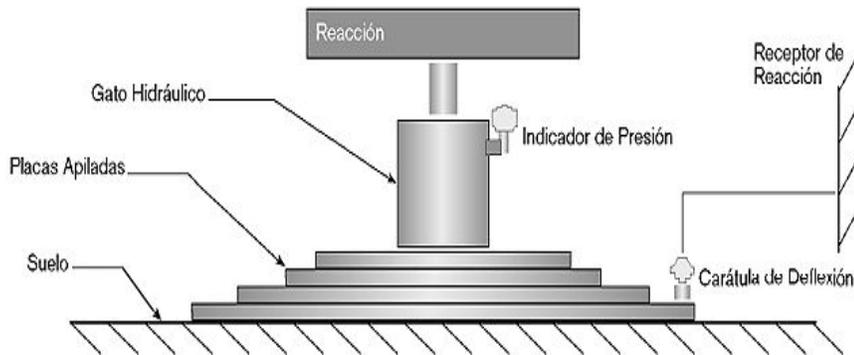
Aeronave tipo	Peso bruto Ton.	Disposición y numero de ruedas	Carga por pierna Ton.	Presión de neumáticos. Kg./cm <sup>2</sup>	Área de contacto. Cm <sup>2</sup>	S	S <sub>T</sub>	S <sub>D</sub>
DC-3	11,4	2, Sencilla	5.35	3,2	1672			
DC-9-21	45.8	4 Gemelas	21.6	9.8	1102	64		
DC-9-41	52,2	4Gemelas	24.33	11.0	1106	66		
DC-9-81	64.0	4Gemelas	30,57	11.7	1306	71		
B-727-10	77.1	4Gemelas	34,85	11.4	1529	86		
B-727-20	78.5	4Gemelas	36,25	11.5	1576	86		
B-727-2	95,3	4Gemelas	43,91	11.5	1909	86		
B 757-20	109.3	8Boggie	49,52	12,1	1023	86	114	143
B-767-20	141,5	8Boggie	63,37	12,6	1317	114	142	182
B-707-3	148,8	8Boggie	68,84	12,4	1380	88	142	167
DC-863	162,4	8Boggie	77,30	13,4	1442	81	140	162
DC-10-1	196,4	8Boggie	92,61	12.8	1809	137	163	213
B-747-10	334,7	16Boggie	77,33	15,6	1239	112	147	185
B-747-20	352,9	16Boggie	82,38	13,7	1520	112	147	185





Correlación entre el C.B.R. y valores de K con la clasificación del S.U.C.S.

Esquema de la Prueba de Placa.



**ESQUEMA DE LA PRUEBA DE PLACA**





---

## DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

---

De acuerdo con lo observado en capítulos anteriores se debe comprender que el diseño de un pavimento resulta complejo, siendo poco probable que cualquier método muy simple, pueda proporcionarnos un proyecto adecuado.

El proyectista deberá considerar que el pavimento soportara un gran número de aplicaciones de carga, de magnitud variable y movimientos de rotación y de fricción provocados por el tránsito que circulara por ese camino.

Los métodos de diseño desarrollados hasta la fecha, están lejanos de ser satisfactorios, se puede decir que no existe uno al que no se le realicen objeciones del tipo teórico, esta es la causa por lo que las especificaciones respecto a la calidad de los materiales del pavimento resultan rigurosas, se supone que si tenemos un proceso constructivo correcto, se puede garantizar un buen comportamiento del pavimento.

En general los métodos de diseño actualmente en uso son de tres tipos:

- a) Métodos con base teórica como el desarrollado por la armada de los EE.UU.
- b) Métodos Semiempíricos: que aplican resultados de una teoría y de cierta prueba de laboratorio específica, métodos como el MC. Leod, Hveem y del valor relativo de soporte (V. R. S.) pertenecen a este tipo.
- c) Métodos empíricos: apoyados en la observación y la experiencia como el de la agencia federal de aviación (FAA.).

En la República Mexicana en 1940 se adoptaron las curvas de proyecto del cuerpo de Ingenieros de los EE.UU. que en distintas ocasiones se han modificado de acuerdo con las características de los vehículos en cuanto a volumen y cargas. Con la última modificación se trabaja con cuatro curvas correspondientes al tránsito promedio diario anual en el carril de diseño. Se ha observado que con este método el espesor del pavimento para tránsito pesado muy grandes pueden resultar escaso o sub diseñado y para tránsitos ligeros con un diseño sobrado.

Curva "I".- Para más de 2000 vehículos.

Curva "II".- De 1000 a 2000 vehículos.

Curva "III".- De 500 a 1000 vehículos.

Curva "IV".- Para menos de 500 vehículos.

Los automotores que se cuantifican son los que tienen más de 3.0 toneladas de peso y en dichas curvas no se considera el espesor de la carpeta asfáltica, la cual diseña el proyectista basándose en el tránsito promedio, recomendando los siguientes espesores promedio.



**Número de vehículos.**

Menos de 500

500 a 1000

1000 a 3000

Más de 3000

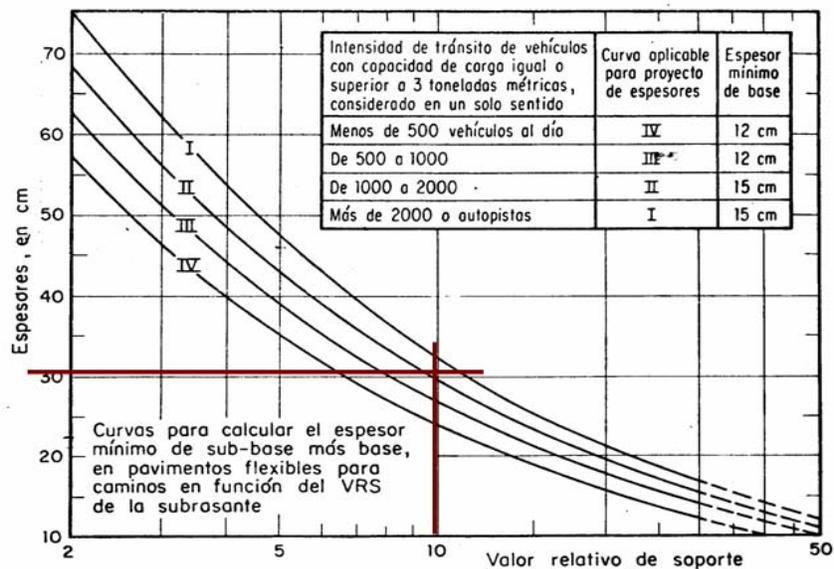
**Tipo y espesor de carpeta.**

Carpeta de un riego

Carpetas de riegos o mezcla en el  
Lugar de 5.0 – 7.0 cm.

Carpeta de 3 riegos o mezcla en el  
lugar de 7.0-10.0 cm.

Carpeta de 12.0 cm. sobre base  
Hidráulica o bien de 8.0 cm.  
Sobre base estabilizada.



MÉTODO DE LA (S.C.O.P.) EMPLEADO POR LA S.C.T.



Los datos a considerar son la cantidad de vehículos con un peso mayor a tres toneladas y el valor relativo de soporte (V.R.S.) de la sub rasante.

Ejemplo: se obtiene por medio de aforos el tránsito promedio diario anual en el carril de diseño para este ejemplo se tendrán 1500 vehículos y el V.R.S. de la sub rasante es de 10 %.

Con estos valores se entra en la gráfica y se ubica en el eje de las abscisas el V.R.S. de ahí trazamos una recta hasta cortar en este caso la curva II (de 1000 a 2000 vehículos) en donde se corte se traza una línea hacia el eje de las ordenadas ahí se obtiene el espesor del pavimento, que para este ejemplo fue de 30.0 cm.

**DISEÑO:** en la tabla que se encuentra del lado superior derecho nos indica el espesor mínimo de la base que para este tránsito es de 15.0 cm. pero como tenemos suficiente espesor se propone lo siguiente para que no falle el pavimento y se tenga un diseño económico.

<b>BASE</b>	20.0 centímetros
<b>SUB BASE</b>	10.0 centímetro
$\Sigma$	30.0 centímetros

Se propone una **carpeta** de 7.0 cm. de espesor con mezcla en el lugar por tener un tránsito de 1000 a 3000 vehículos.

Los pavimentos flexibles están formados de capas de materiales con una resistencia a la deformación decreciente con la profundidad.

El aumento en la intensidad y número de aplicaciones de carga, lleva en estos momentos a diseños con mayor capacidad estructural, recurriendo a capas de material mejoradas o mezclas asfálticas del orden de 30.0 cm. como las denominadas full depth. Con el incremento en el peso y el número de vehículos, en la actualidad y a futuro se debe pensar en materiales nuevos como los concretos asfálticos mejorados, los Geotextiles así como los agentes modificadores y los valores de reología y módulos de elasticidad dinámicos, debiendo emplearse programas de computación avanzados.

El diseño final del pavimento se obtiene cuando la configuración del pavimento, satisfacen los requisitos de confiabilidad para cada tipo de camino.

Los métodos de los que se hace mención han simplificado los procedimientos de aplicación, presentando tablas, nomogramas y elementos de cálculo sencillos, además de programas de computadora, mediante los cuales se pueden realizar alternativas y análisis rápidamente, incluyendo costos y diseño.



---

DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES POR EL MÉTODO DEL  
INSTITUTO DE INGENIERÍA

---

Es un método de tipo experimental, basado en el estudio que correlaciona varios factores que afectan el comportamiento de los pavimentos y que son principalmente: las cargas de los vehículos, el tránsito promedio, el clima de la región, la interacción de las distintas capas que conforman la estructura del camino, la vida útil de proyecto, las características de los materiales, la resistencia de los mismos y aun el procedimiento constructivo basado en el coeficiente de confianza.

El método consiste en determinar el valor relativo de soporte (C.B.R.) de cada una de las capas, se propone una determinada vida útil de proyecto basándose principalmente en obras semejantes, se determina el tránsito separándolo por tipo de vehículos de acuerdo a su peso y las características de la geometría de sus ejes, esto se transforma a un eje de 8.2 toneladas de peso (eje equivalente que corresponde a 18 000 libras) y con estos datos se obtiene el número de ejes acumulados para que cuando se obtenga el V.R.S crítico de cada una de las capas se obtenga los espesores en el nomograma correspondiente.

En la actualidad se maneja un método conocido como **DISPAV 5**, que se ejecuta por medio de un programa de computadora, pero se considera necesario conocer el antecedente y de esta manera entender el nuevo proceso para proporcionar los datos que en él se requieren.



---

#### MÉTODO DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA

---

El proceso a seguir en el método tradicional es el siguiente:

Se analizan las cargas provocadas por el tránsito.

En la primera columna se muestran los tipos y características de los vehículos que se consideran para el proyecto (tipo de vehículo).

Se anota el número de automotores que se supone circularan en ambas direcciones, columna dos.

Se elige el coeficiente de distribución para el carril de diseño, el cual se basa en el número de carriles que tendrá la carretera de proyecto (en la parte inferior izquierda de la tabla aparecen estos valores) el dato se anota en la columna tres ( se recomienda para el caso de cuatro carriles que si el porcentaje de vehículos pesados es menor de 50% emplear un valor de 40 pero si se tiene un porcentaje de entre 50 a 75% tomar el valor de 45 y si resulta superior a 75% seleccionar 50, se recomienda esta secuencia cuando se tengan seis o más carriles)

La columna cuatro se obtiene del producto de la columna dos por la tres siendo el número de automotores en el carril de proyecto.

El coeficiente de vehículos cargados (C) y vacíos (V) se obtiene de aforos de tránsito o de encuestas de origen y destino, en carreteras con características similares a la que se está proyectando, o bien empleando valores estadísticos. El porcentaje de vehículos se anotara en decimales y la suma de ambos, cargados y vacíos será de 100% o de la unidad.

La columna seis (6) es el producto de la cuatro (4) por la cinco (5) y se conoce como número de vehículos cargados y vacíos por carril.

El coeficiente de daño por tránsito de la columna siete (7) y ocho (8) es proporcionado por el método (tabla de la fig. A2.) Y nos indica el deterioro que causan los diferentes vehículos de acuerdo con su peso, su arreglo de llantas y ejes y la profundidad a la que deseamos conocerlo (se considera  $Z=0$  para la carpeta,  $Z=15$  para la base,  $Z=22.5$  para la sub- base y de  $Z=30$  para la sub rasante).

El número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas para  $Z=0$  cm. se obtiene de multiplicar el número de vehículos cargados o vacíos por carril, por el coeficiente de daño de la columna siete (7) y se anota en la nueve (9).

La columna diez (10) para  $Z=15$  se obtiene de multiplicar la columna seis (6) por el coeficiente de la columna ocho (8).

Se suman los valores de la columna nueve (9) y se anotan como  $T_o$ (tránsito equivalente inicial al nivel de la carpeta) los de la columna diez (10) también se suman y se anotan como tránsito equivalente en la base.



Se calcula el coeficiente de acumulación de tránsito (C).

$$c = 365 \left[ \frac{(1+r)^n - 1}{r} \right]$$

r = tasa de crecimiento anual

n = años de servicio

Se obtiene el tránsito acumulado de ejes sencillos de 8.2 Ton. Para la carpeta y la base multiplicando (C \* T<sub>o</sub>) y (C \* T<sub>b</sub>) de los cuales se obtiene su logaritmo se ubica en el nomograma A5 (tránsito acumulado de ejes sencillos de 8.2 toneladas), se emplea más comúnmente el valor obtenido en la base ya que es una capa más susceptible a deformarse por ser de menor calidad que la carpeta siendo más factible que falle, por lo tanto es la que se analiza, aunque se podrá examinar cualquier otra capa de la estructura del camino que se considere viable de fallar.

Para obtener los espesores equivalentes se requiere conocer el valor relativo de soporte crítico de cada una de las capas del pavimento y se emplea la siguiente ecuación.

$$\widehat{VRS}_z = \overline{VRS} [1 - CV]$$

$\widehat{VRS}_z$  = valor relativo de soporte crítico de la capa

$\overline{VRS}$  = valor relativo de soporte medio esperado en el campo

C = factor que depende del nivel de confianza establecido (lo encontramos en nomograma A5)

V = coeficiente de variación de VRS en el campo que se obtiene con la siguiente expresión:

$$V = \frac{\overline{VRS} - VRS_{\text{proy}}}{\overline{VRS}} \quad \text{También puede ser la diferencia de 100 - variación de}$$

las pruebas.

El espesor equivalente lo encontramos en el nomograma A5 entrando con el valor relativo de soporte crítico de la capa en estudio se traza una línea hasta cortar la curva seleccionada y donde corte se lleva hacia el eje de las ordenadas donde encontramos dicho valor, teniendo en consideración la restricción de la sub base  $\widehat{VRS}_3 = 20$

Se calculan los **espesores** de las capas de la siguiente manera:

**Espesor de subrasante** = Espesor equivalente de terraplén - Espesor equivalente de la subrasante.

**Espesor de sub base** = espesor equivalente de subrasante - espesor equivalente de sub.-base



**Espesor de base + carpeta** = espesor equivalente de terraplén –  $\Sigma$  espesor subrasante + espesor de sub.- base

Teniendo en consideración los factores de equivalencia que existen entre capas de concreto asfáltico y materiales convencionales, se diseñan los espesores reales buscando tener una estructura funcional, económica y adecuada, con datos que para el proyecto constructivo resulten los adecuados.

### **Ejemplo:**

Diseñar un pavimento flexible por el método del Instituto de Ingeniería con los siguientes datos: se tienen **4 carriles**, con un **coeficiente de confianza del 87%**, un **incremento de tránsito del 5%**, un periodo de **vida útil de 12 años** y un tránsito promedia diario anual (TPDA) de **9800** vehículos de distintas categorías, que se desglosan adelante.

### **Datos de campo.**

VRS del terraplén: 5.2, 5.5, 5.0, 5.7, 5.5

VRS de la subrasante: 12.3, 12.8, 12.5, 12.7, 12.4

VRS de la sub base: 22.1, 22.3, 22.7, 23.0, 22.0

### **Datos de proyecto**

VRS de proyecto del terraplén = 5.0 %

VRS de proyecto de la subrasante = 12%

VRS de proyecto de la sub base = 22%

Desglose de vehículos

<b>Tipo de vehículos</b>	<b>Cargados (C)</b>
<b>Ap = 17%</b>	<b>0.95</b>
<b>Ac = 10%</b>	<b>0.88</b>
<b>B = 16%</b>	<b>0.85</b>
<b>C2 = 12%</b>	<b>0.85</b>
<b>C3 = 15%</b>	<b>0.75</b>
<b>T2 - S1 = 9%</b>	<b>0.80</b>
<b>T2 - S2 = 14%</b>	<b>0.65</b>
<b>T3 - S2 = 7%</b>	<b>0.75</b>



### FACTORES DE EQUIVALENCIA.

1.0 cm. de concreto asfáltico ---- 2.0 cm. de base hidráulica.  
1.0 cm. de base hidráulica ---- 1.5 cm. de sub.- base.  
1.0 cm. de concreto asfáltico ---- 1.5 cm. de base estabilizada con cemento Pórtland.  
1.0 cm. de concreto asfáltico ---- 1.8 cm. de base estabilizada con cal.  
1.0 cm. de concreto asfáltico ----- 1.5 cm. de una base estabilizada con cal

Se procede al llenado de la tabla con los datos adecuados.

$$A_p----- (0.17) (9800) = 1666$$

$$A_c----- (0.10) (9800) = 980 \quad \text{y así sucesivamente y con esto se llena la 1er columna.}$$



Tipo de vehículos	Numero de vehículos en ambas direcciones	Coeficiente de distribución	Numero de vehículos en el carril de proyecto	Coeficiente de vehículos cargados o vacíos	Numero de vehículos cargados o vacíos por carril	Numero de ejes equivalentes de 8.2 ton			
						por transito			
						z = 0 cm	z = 15 cm	z = 0 cm	z = 15 cm
Ap	1666	0,45	749,7	c=0,95	712,215	0,005	0	3,56108	0
				v=0,05	37,485	0,005	0	0,18743	0
Ac	980	0,45	441	c=0,88	388,08	0,34	0,042	131,947	16,29936
				v=0,12	52,92	0,34	0,001	17,9928	0,05292
B	1568	0,45	705,6	c=0,85	599,76	2	1,15	1199,52	689,724
				v=0,15	105,84	2	0,64	211,68	67,7376
C2	1176	0,45	529,2	c=0,85	449,82	0,88	0,465	395,842	209,1663
				v=0,15	79,38	0,88	0,027	69,8544	2,14326
C3	1470	0,45	661,5	c=0,75	496,125	0,88	0,675	436,59	334,884375
				v=0,25	165,375	0,88	0,044	145,53	7,2765
T2 - S1	882	0,45	396,9	c=0,80	317,52	3	1,74	952,56	552,4848
				v=0,20	79,38	3	0,14	238,14	11,1132
T2 - S2	1372	0,45	617,4	c=0,65	401,31	4	1,57	1605,24	630,0567
				v=0,35	216,09	4	0,21	864,36	45,3789
T3 - S2	686	0,45	308,7	c=0,75	231,525	5	1,3	1157,63	300,9825
				v=0,25	77,175	5	0,15	385,875	11,57625
<b>Total</b>	<b>9800</b>								

To=7816,5045    T'o=2878,8767

Numero de carriles en ambas direcciones	Coeficiente de distribución para el carril de proyecto
2.0	5.0
4.0	40 - 50
6 o mas	30 - 40

Años de servicio, n = 12      Tasa de crecimiento anual, r = 5 %  
 Coeficiente de acumulacion de transito, C= 5809,75  
 Transito acumulado      CTo= 4,5E+07    CTo= 16.725.557,30  
 log(Cto)= 7,65      og(CTo)= 7,22

Tabla para calculo del transito acumulado en ejes sencillos equivalentes de 8.2 ton

Ubicar en el nomograma **A5** la curva que corresponda al logaritmo del número de ejes acumulados de 8.2 toneladas de la base (que se considera la capa más crítica por ser de las dos que componen el pavimento la que presenta menor calidad y se encuentra muy cercano a las cargas del tránsito, aunque se puede realizar este análisis con la carpeta o bien con las capas inferiores, para tener resultados más precisos) (7.22). Nota se tomó la curva **7.33** que es la más cercana al valor requerido.

Para calcular el **espesor equivalente de las capas** se requiere calcular el valor relativo de soporte crítico (empleando la fórmula) de cada una de ellas para lo cual se obtiene el coeficiente de confianza (C) dichos valores se encuentran en el nomograma **A5**, en este caso para obtener dicho valor se tendrá que interpolar entre los valores de 85% y 90% del nivel de confianza obteniendo un valor de (1.135).

$$85\% = 1.037 \quad 90\% = 1.282 \quad \text{por tanto} \quad 1.282 - 1.037 = 0.245$$

$$0.245 / 5 = 0.049 \quad \text{por consecuencia} \quad 0.049 + 1.037 = 1.086$$

$$1.037 + 0.098 = 1.135$$



Para calcular el coeficiente de variación (**V**) del VRS en el campo de cada capa se obtiene de la siguiente manera:

$$V = \frac{\overline{VRS} - VRS_{proy}}{\overline{VRS}}$$

$$V = \frac{5.38 - 5.0}{5.38} = 0.071 \quad \text{Terraplén}$$

$$V = \frac{12.54 - 12.0}{12.54} = 0.043 \quad \text{Subrasante}$$

$$V = \frac{22.42 - 22.0}{22.42} = 0.019 \quad \text{Sub base}$$

Por lo tanto el valor relativo de soporte crítico será el siguiente para cada capa.

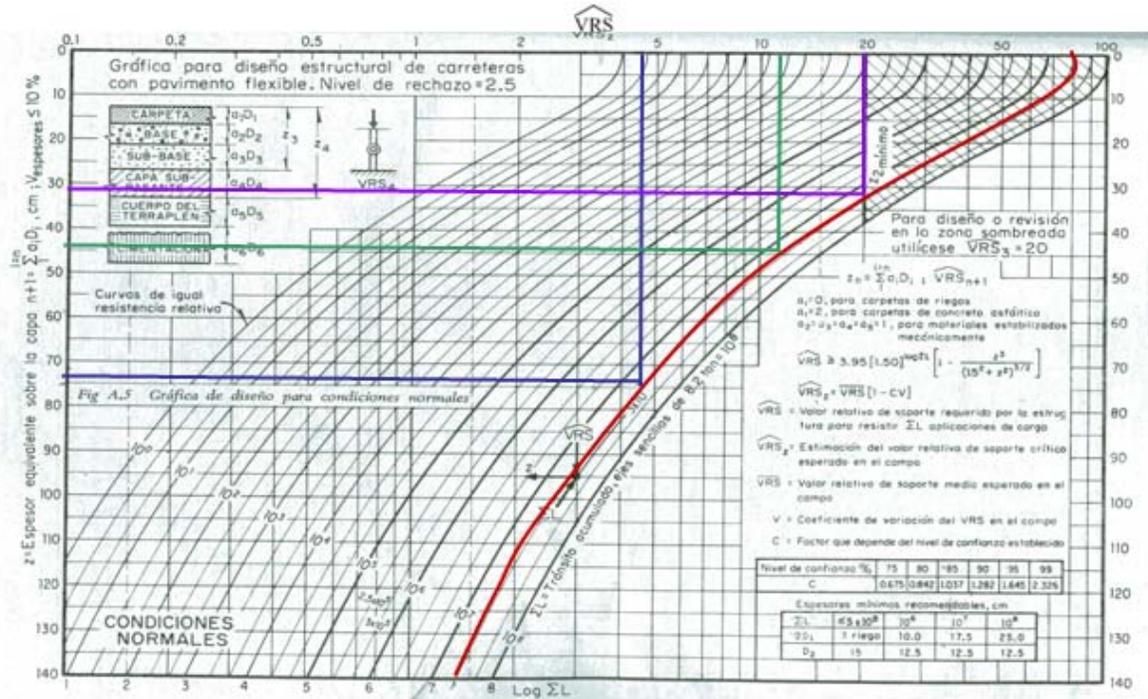
$$\widehat{VRS}_z = \overline{VRS} [1 - CV]$$

$$\widehat{VRS}_z = 5.38 [1 - 1.135 * 0.071] = 4.946 \quad \text{Terraplén}$$

$$\widehat{VRS}_z = 12.54 [1 - 1.135 * 0.043] = 11.92 \quad \text{Subrasante}$$

$$\widehat{VRS}_z = 22.42 [1 - 1.135 * 0.019] = 21.94 \quad \text{Sub base}$$

Nota: como el  $\widehat{VRS}$  de la sub base se encuentra dentro de la zona sombreada se debe de considerar para diseño con un  $\widehat{VRS} = 20$ . Ya que así no lo indica una nota que se encuentra en el nomograma en la parte superior derecha.



De la figura obtenemos los espesores equivalentes de las capas analizadas y en este caso se tienen los siguientes valores de espesor equivalente:

- Terraplén = 73 cm.
- Subrasante = 43 cm.
- Sub base = 31 cm.

**Obtención de los espesores.**

- Espesor de la subrasante:  $73 - 43 = 30$  cm.
- Espesor de la sub- base:  $43 - 31 = 12$  cm.
- Espesor de la base + la carpeta:  $73 - (30+12) = 31$  cm.

En la parte inferior derecha del nomograma A5 se tienen los espesores mínimos recomendados para una carpeta ( $2D_1$ ) se ingresa con el número de ejes equivalentes que se obtuvo y que en este caso es de  $10^7$  el valor más cercano de la tabla, que propone un espesor  $2D_1$  igual a 17.5 cm.

$2D_1 = 17.5$  cm. Por lo tanto  $D_1 = 17.5 / 2 = 8.75$  cm. Espesor de la **carpeta**.

En este caso el espesor de la **base** es =  $31 - 8.75 = 22.25$  cm.

Como resulta algo complicado laborar en campo con este tipo de espesores y apoyados en los factores de equivalencia, se tratara de proporcionarles un espesor más adecuado.



Considerando que los espesores de una **carpeta asfáltica** para carreteras en condiciones normales, son las siguientes: 5.0, 7.5, 10.0, 12.5 y 15.0 cm. Y tomando en cuenta que el espesor mínimo para una **base** con un T.P.D.A  $>$  a 1000 es de 15 cm. que el espesor mínimo de la **sub base** es de 10 cm. y que el grosor mínimo de la **sub rasante** dependerá de  $\Sigma$  ejes acumulados de 8.2 toneladas durante su vida útil, se procederá a diseñar la estructura final.

Se propone un espesor de la carpeta de 10.0 cm. ya que el  $\Sigma$  de ejes de 8.2 toneladas era de  $10^{7.65}$  y se tomó un valor menor para el diseño de la misma que fue de  $10^7$ , el espesor que falte se tomara de la capa de base y se afectara por el factor de equivalencia y se considerara un espesor en la base de 20.0 cm.

Por lo tanto 22.5 cm. que teníamos de la base menos 20.0 cm. que se están proponiendo sobran 2.5 cm. que afectados por el factor de equivalencia que es igual a 2 se tiene:

$2.5/2 = 1.25$  cm. Por consiguiente para la carpeta se tiene:

8.75 originales + 1.25 cm. que le quitamos a la base = 10cm.

como la sub base cumple con el mínimo recomendado se queda igual y en el caso de la subrasante se va a las normas (N-CMT.1.03/02) para verificar los espesores mínimos recomendados de acuerdo al número de ejes acumulados de 8.2 toneladas y en este caso es mayor de 10 millones (16 725 557) se requiere de un diseño especial en la **subrasante** y se necesita colocar una capa **subyacente** también con un diseño especial mayor o igual a 70.0 cm. por el mismo motivo que en el caso anterior, que el  $\Sigma$  de ejes equivalentes de 8.2 toneladas es mayor a 10 millones, por consiguiente el **diseño final** queda así:

<b>Carpeta asfáltica</b>	10.0 cm.
<b>Base hidráulica</b>	20.0 cm.
<b>Sub base</b>	12.0 cm.
<b>Sub rasante</b>	diseño especial mayor a 50.0 cm.
<b>Subyacente</b>	diseño especial superior a 70.0 cm.

De este proyecto se pueden proponer otros más para encontrar el más adecuado ya sea estabilizando algunas capas y afectarlas por su factor de equivalencia o disminuyendo algunos espesores del pavimento sin afectar su estructura.



---

DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE POR EL MÉTODO DEL INSTITUTO  
DEL ASFALTO DE LOS E.U.A.

---

El procedimiento propuesto por el instituto norteamericano del asfalto con metodología de diseño de los pavimentos flexibles, se refiere básicamente a carreteras, y consiste en determinar el espesor de la estructura del pavimento, de acuerdo con los siguientes datos:

- Volumen de tránsito a prever (NTD)
- Parámetro que representa la resistencia y deformabilidad del material de apoyo o terracería (VRS y/o valor portante K)
- Calidad general de los materiales disponibles
- Procedimientos previstos para la construcción

El tránsito previsto se refiere al denominado número de tránsito para diseño (NTD), que es el promedio diario de cargas equivalentes de 8.2 Ton (18000 lb.), dispuestas en un eje sencillo, que se esperan durante el periodo de diseño de la obra, normalmente fijado en 20 años por la propia institución.

Las propiedades mecánicas básicas del material de terracería, capa subrasante, sub base y base, se establecen por medio de las pruebas usuales en la tecnología actual de los pavimentos.

El instituto del asfalto da el espesor necesario de cubrimiento, sobre un material determinado, en términos de un espesor de concreto asfáltico, el cual puede traducirse en diversas alternativas de estructuración, a base de las capas usuales, empleando los factores de equivalencia, que más adelante se detallan.

Una vez que se ha determinado el valor índice de la resistencia del material y el NTD aplicable al caso, el espesor necesario de cubrimiento se obtiene con el monograma de espesores de carpeta asfáltica, (adelante visto).

**Procedimiento del método.**

**a) Evaluación del tránsito de vehículos**

*1.- cálculo del tránsito diario inicial (TDI)*

Para tal propósito, deberá comenzarse por establecer con base en estudios previos de tránsito, el número medio diario de vehículos que se han de esperar en el camino, durante el primer año de su operación. Este número se denomina Tránsito Diario Inicial (TDI) y su valor es el correspondiente al tránsito promedio diario anual (TDPA).

$$TDI = TDPA$$



2.- *cálculo del número promedio diario de vehículos pesados en el carril de diseño, en una dirección (N).*

Con base en datos de aforo y clasificación vehicular del tránsito valido al caso, ha de determinarse también el porcentaje correspondiente al carril del diseño.  
El propio instituto del asfalto, indica cual es la distribución de vehículos pesados que conviene considerar en el carril de diseño, en los diferentes casos.

$$N = TDI \times A/100 \times B/100$$

En donde:

A es el porcentaje de camiones pesados en dos direcciones. Se efectúa la suma del número de vehículos pesados (SVP), de acuerdo con la clasificación vehicular correspondiente y se calcula el porcentaje de vehículos pesados respecto al TDPA

$$B = (SVP/TDPA) 100$$

B es el porcentaje de camiones pesados en el carril de diseño y se obtiene su valor de la siguiente tabla.

Porcentaje del tránsito total de vehículos pesados en dos direcciones que deberá considerarse en el carril de diseño

No. Total de carriles en carretera	% de camiones a considerar en el carril de Diseño
2	50
4	45 (oscila entre 35 y 48)
6 o más	40 (oscila entre 25 y 48)

3.- *cálculo del peso promedio de los vehículos pesados (PPC)*

PPC S (No. De vehículos) (peso total vehículos) SVP

4.- *límite de carga legal por eje sencillo, establecido por las autoridades*

En México, se utiliza como estándar un eje sencillo, soportando una carga total de 8.2 Ton. (18000 lb.), es decir, 4.1 Ton. Por rueda.

5.- *cálculo del número de transito inicial (NTI)*

Con toda la información anterior podrá establecerse el número de transito inicial (NTI), haciendo uso del monograma.

El procedimiento para utilizar el monograma es el siguiente:



Ubicar en la escala **D** el peso promedio de los camiones pesados (PPC). Únase ese punto con el número de camiones pesados en el carril de diseño, sobre el eje (C) la línea anterior deberá prolongarse hasta cortar el eje (B) que es una línea pivote. Establézcase ahora en el eje (E) el límite de carga legal para eje sencillo (8.2 Ton. Como mínimo); ese punto deberá de unirse con el anterior encontrado sobre el eje (B), y esa línea se prolongara hasta el eje (A), sobre el que observará el número de transito inicial (NTI.)

*6.- cálculo del número de transito de diseño (NTD)*

Con el periodo de diseño del pavimento considerado, que será usualmente de 10 a 20 años, y la tasa de crecimiento anual de tránsito, podrá buscarse en la tabla de Factores de Corrección del NTI, el factor de corrección que deberá aplicarse al NTI, de manera que el producto de las cantidades, es el número de transito de diseño (NTD) que figura en el monograma de espesor total de cubrimiento.

**NTD= (NTI) (FACTOR DE CORRECCIÓN).**

**FACTORES DE CORRECCIÓN DEL NTI, PARA OBTENER EL NTD**

PERIODO DE DISEÑO	TASA DE CRECIMIENTO ANUAL DEL TRANSITO						
	AÑOS	0	2	4	6	8	10
2		0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
4		0.20	0.20	0.21	0.22	0.22	0.23
6		0.30	0.32	0.33	0.35	0.37	0.39
8		0.40	0.43	0.46	0.50	0.53	0.57
10		0.50	0.55	0.60	0.66	0.72	0.80
12		0.60	0.67	0.75	0.84	0.95	1.07
14		0.70	0.80	0.92	1.05	1.21	1.40
16		0.80	0.93	1.09	1.28	1.52	1.80
18		0.90	1.07	1.28	1.55	1.87	2.28
20		1.00	1.24	1.49	1.84	2.29	2.86
15		1.25	1.60	2.08	2.74	3.66	4.92
30		1.50	2.03	2.80	3.95	5.66	8.22



**b) análisis estructural del pavimento**

*1.- cálculo del espesor necesario de cubrimiento de concreto asfáltico.*

Con los datos del V.R.S. o de la prueba de placa y el N.T.D., aplicable al caso, se entra en el monograma de la figura, y se obtiene el espesor total del pavimento, dado en concreto asfáltico.

<b>NÚMERO DE TRANSITO PARA DISEÑO (NTD)</b>		
<b>REQUISITOS MÍNIMOS PARA MATERIALES DE BASES HIDRÁULICAS</b>		
<b>TIPO DE PRUEBA</b>	<b>NORMAS</b>	
	<b>BAJA CALIDAD</b>	<b>ALTA CALIDAD</b>
VRS MÍN.	20	100
LL máx.	25	25
IP máx.	6	NP
Equivalente de arena	25	50
Finos (% máx.)	12	7

*2.-El instituto del asfalto, especifica los espesores mínimos de concreto asfáltico que deben colocarse en la carpeta del pavimento cuando se utilizan bases asfálticas. Estos valores aparecen en la siguiente tabla.*

<b>ESPEORES MÍNIMOS PARA CARPETAS DE CONCRETO ASFALTICO SOBRE BASES ASFÁLTICAS</b>	
<b>NUMERO DE TRANSITO DE DISEÑO (NTD)</b>	<b>ESPESOR MÍNIMO (cm.)</b>
<b>Menor que 10 (transito ligero)</b>	<b>5</b>
<b>Entre 10 y 100 (transito medio)</b>	<b>7</b>
<b>Mayor de 100 (transito intenso)</b>	<b>10</b>

*3.- Calculo del espesor de la base granular.*

Esp. Base granular en concreto asfáltico =  $E_t - E_m$

El espesor real de la base, se obtiene multiplicando el espesor de la base granular, dado en concreto asfáltico, por un factor de equivalencia correspondiente a una base granular, este factor se obtiene mediante el uso de la siguiente tabla.

<b>FACTORES DE EQUIVALENCIA ENTRE CAPAS CONVENCIONALES Y CAPAS DE CONCRETO ASFALTICO, EN CUANTO ESPESOR</b>	
<b>CAPAS CONVENCIONALES</b>	<b>FACTOR DE EQUIVALENCIA</b>
Bases asfálticas de arena, mezcla en planta	1.3
Bases asfálticas elaboradas con asfalto liquido o emulsificados	1.4
Bases granulares de alta calidad (VRS>100%)	2.0
Bases granulares de baja calidad (VRS>100%)	2.7
El espesor de la capa de súbbase y de la capa subrasante se obtiene por especificación.	



**Ejemplo:**

Diseñar la sección estructural de un pavimento flexible empleando el método anterior. Los datos generales son los siguientes:

Los materiales que forman las terracerías son generalmente de origen volcánico y están constituidos por limos inorgánicos de mediana plasticidad y de baja a alta comprensibilidad. También se encuentran algunas mezclas de suelos y fragmentos pequeños de roca, cuyas características son muy variables.

**Datos**

- Número de carriles = 4 Carga limite por eje = 9.0 toneladas
- T.P.D.A = 9800 vehículos.
- C.B.R. de subrasante = 12%
- C.B.R. de sub base = 22%
- C.B.R. de la base = 100%
- Periodo de vida útil (n) = 12 años
- Tasa de crecimiento (r) = 5 %

Clasificación vehicular:	# de vehículos	peso total del vehículo en toneladas.
Ap= 17%	1666	2.0 ton.
Ac= 10%	9805.5	“
B = 16%	1568	15.5 “
C2= 12%	1176	15.5 “
C3= 15%	1470	23.5 “
T2-S1= 9%	882	25.5 “
T2-S2= 14%	1372	33.5 “
T3-S2= 7%	686	35.5 “

Se obtiene el porcentaje de vehículos pesados, los cuales se consideran de los autobuses (B) hacia abajo. Para este ejemplo es de  $100-27= 73 \%$

Se calcula el peso promedio de los vehículos pesados (PPC), conocido el peso de cada uno de estos.

$$PPC. = \frac{(1568*15.5) + (1176*15.5) + (1470*23.5) + (882*25.5) + (1372*33.5) + (686*35.5)}{7154}$$

PPC=169883 / 7154 = 23.75 TONELADAS    ubicar este valor en el eje **D** -----1

Unir este dato con el número de camiones en el carril de diseño. -----2

n.c.c.d.= (9800) (0.73) (0.45) = **3219.3eje C**

Prolongar hasta el eje **B** que es solo una línea de referencia.

Ubicar en el eje **E** la carga limite por eje simple (9.0 toneladas) -----3



Unir este valor con el punto encontrado en **B** y prolongar hasta el eje **A** donde se encontrara el **NTI** (número de tránsito inicial) que para este ejemplo es de **4800**.

Encontrar en la tabla el factor de corrección correspondiente: ubicando en la columna de años el periodo de vida útil (para este caso es de 12 años) y en las filas la tasa de crecimiento anual del tránsito (5%), como este valor no aparece se interpola entre 4 y 6% y de ahí se obtiene que el factor de corrección se encuentra entre (0.75 – 0.84) y es de **0.795**.

Se calcula el número de tránsito de diseño (**N.T.D.**).

$$N.T.D. = 0.795 * 4800 = \mathbf{3816 \text{ VEHÍCULOS.}}$$

Ubicar este dato en el eje **C** del nomograma 2 y en el eje **B** situar el C.B.R. de la subrasante que en este ejemplo es de **12 %**, unirlos con una línea y prolongarla hasta el eje **A** donde se encontrara el espesor de concreto asfáltico en centímetros que se requiere para diseñar este pavimento, este valor se debe convertir a capas convencionales: el espesor encontrado para este caso fue de 22.0 cm.

Se proponen tres diseños: la primera seria empleando una base estabilizada con cemento Pórtland cuyo factor de equivalencia es de 1.5.

El espesor mínimo de **la carpeta** de acuerdo al tránsito de diseño es de **10.0 cm.** para bases estabilizadas.

Del total del espesor de diseño que fue de 22.0 le restamos 10.0 cm. que se utilizó para la carpeta y nos quedan 12.0 cm. que se deben convertir a capas convencionales empleando los factores de equivalencia.

Los 12.0 cm. restantes se colocaran en la base y para conocer el espesor de esta multiplicamos este valor por el factor de equivalencia y nos queda:

$$12 * 1.5 = 18.0 \text{ cm. de base.}$$

**Este diseño nos quedaría de la siguiente manera:**

<b>Carpeta</b>	<b>10.0 cm.</b>
<b>Base estabilizada con cemento Pórtland</b>	<b>18.0 cm.</b>
<b>Subrasante espesor mínimo</b>	<b>30.0 cm.</b>
<b>Subyacente espesor mínimo</b>	<b>50.0 cm.</b>



Se propone otro diseño empleando una base hidráulica (base granular de alta calidad). Para esto se hace uso del nomograma de espesores mínimos y se procede a lo siguiente: Ubicar en el eje de las abscisas el número de tránsito para diseño **N.T.D.** (3816) y trazar una línea paralela al eje de las ordenadas hasta cortar la línea que dice base hidráulica de alta calidad, donde corte se marca una línea hacia el eje de las ordenadas y de esta manera se obtiene el espesor necesario para la **carpeta**, en este caso el espesor fue de **17.0 cm.** de concreto asfáltico.

Por tanto quedan 5.0 cm. para la base los cuales multiplicados por el factor de equivalencia que es de 2.0 nos dan de 10.0 cm. en este caso se propone el espesor mínimo que nos recomienda la S.C.T. que es de 15.0 cm. y el diseño final nos queda de la siguiente manera:

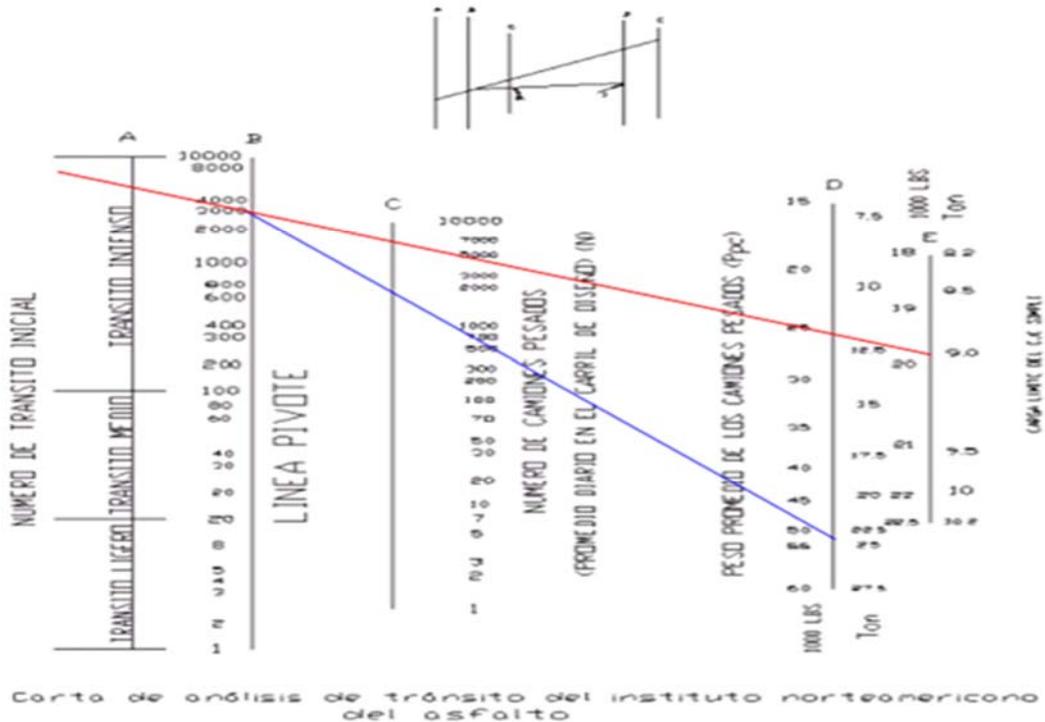
<b>Carpeta asfáltica</b>	<b>17.0 cm.</b>
<b>Base hidráulica (espesor mínimo)</b>	<b>15.0 cm.</b>
<b>Subrasante mínima</b>	<b>30.0 cm.</b>
<b>Subyacente mínima.</b>	<b>50.0 cm.</b>

El tener varios diseños y métodos es con la finalidad de comparar cuál de estos resulta el más adecuado, tanto estructuralmente y económicamente más factible al momento de construir, pudiendo tomar la decisión más adecuada.

Porcentaje del tránsito total de vehículos pesados en  
dos direcciones que deberá considerarse en el carril de diseño

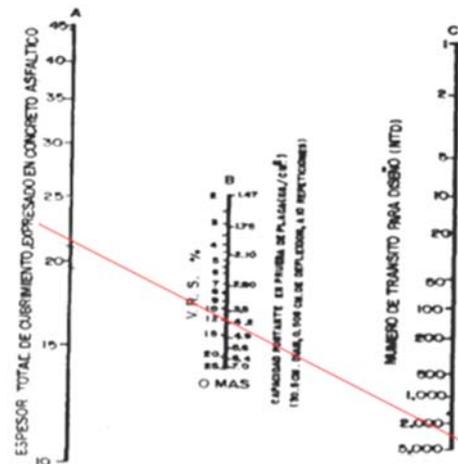
No. total de carriles en

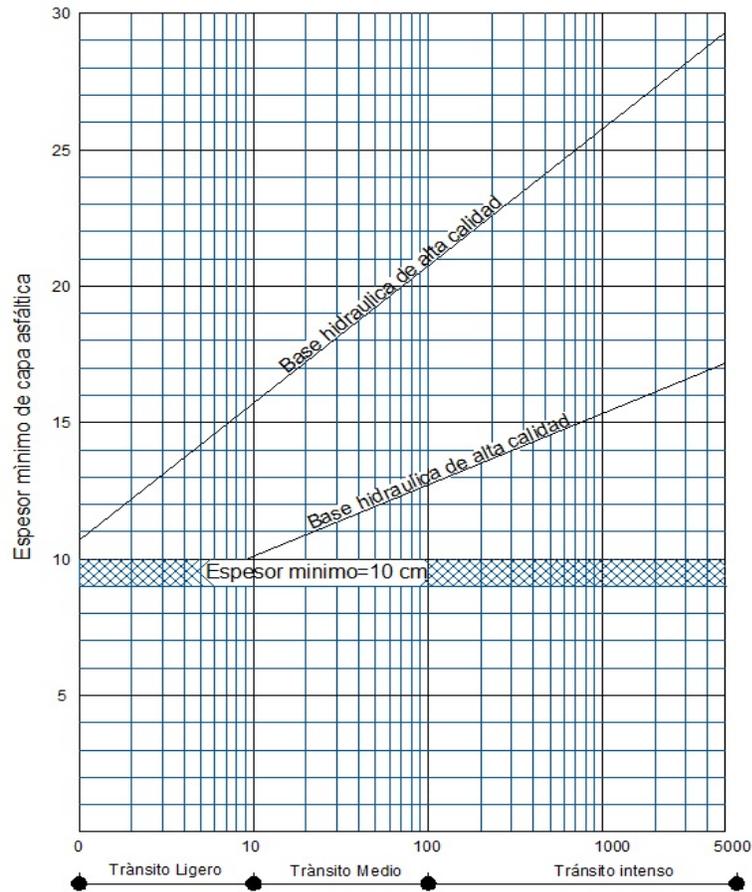
la carretera	% de camiones a considerar en el carril de diseño
2	50
4	45 (oscila entre 35 y 48)
6 ó mas	40 ( oscila entre 25 y 48)



Factores de corrección del NTI para obtener el NTD

Periodo del diseño	Tasa de crecimiento anual de transito						
	Años	0	2	4	6	8	10
1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
4	0.2	0.21	0.21	0.22	0.22	0.23	0.23
6	0.3	0.32	0.33	0.35	0.37	0.39	0.39
8	0.4	0.43	0.46	0.5	0.53	0.57	0.57
10	0.5	0.55	0.6	0.66	0.72	0.8	0.8
12	0.6	0.67	0.75	0.84	0.95	1.07	1.07
14	0.7	0.8	0.92	1.05	1.21	1.4	1.4
16	0.8	0.93	1.09	1.28	1.52	1.8	1.8
18	0.9	1.07	1.28	1.55	1.87	2.28	2.28
20	1	1.21	1.49	1.84	2.29	2.86	2.86
25	1.25	1.6	2	2.74	3.66	4.92	4.92
30	1.5	2.03	2.8	3.95	5.66	8.22	8.22
35	1.75	2.5	3.68	5.57	8.62	13.55	13.55





*Nomograma de espesores mínimos*



## MÉTODO AASHTO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES

Dicho método se basa en ecuaciones de regresión desarrolladas a partir de resultados de tramos de prueba, buscando el número estructural (SN) necesario para que el pavimento pueda soportar las cargas consideradas.

Los factores que se emplean para este método son los siguientes:

- **Serviciabilidad-índice de servicio:** es la calificación que presenta un pavimento nuevo con respecto a otro que ha estado en servicio, esta calificación varía de un valor de 0 a 5 que representan los niveles de servicio en función del grado de deterioro superficial del pavimento y que son los siguientes.
  - ✚ Excelente 5 y 4
  - ✚ Muy bueno 4 y 3
  - ✚ Bueno 2 y 1
  - ✚ Regular 1 y 2
  - ✚ Malo 0 y 1
  - ✚ Muy malo 0
- **Intransitable**
  - Donde ( $P_0$ ) presenta las condiciones después de construido, teniendo valores de 4.5. El índice servicio terminal ( $P_t$ ) corresponde al nivel de servicio en el cual el pavimento requiere de alguna rehabilitación (varía de 2.0 a 3.0 dependiendo del tipo de camino en México comúnmente se emplea el valor de 2.5), por lo tanto:
    - $\Delta PSI = P_0 - P_t$
- **Transito W-18:** se requiere conocer el número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas, de la transformación que se realiza de los diferentes vehículos que circularán por este camino durante su vida útil, con el incremento de tránsito correspondiente.
- **Tipos de vehículos:** se tomara en cuenta los diferentes tipos de unidades autorizadas por la S.C.T. para circular por los caminos nacionales.
- **Periodo de vida útil:** resulta de gran importancia, ya que durante ese tiempo se calcula el número de ejes equivalentes que circularán por este pavimento, considerándose periodos que van de 10 a 20 años.
- **Volumen de tránsito y tasa de crecimiento:** normalmente el número inicial de tránsito lo proporciona el organismo que requiere del proyecto, así como su tasa de crecimiento que deberá aplicarse en el periodo de análisis o bien acudir a estudios de tránsito, basados en aforos de origen y destino.
- **Coefficiente de drenaje:** para seleccionar este valor se debe tener en cuenta las condiciones de saturación a las que están expuestas las capas de sub base y subrasante, debiendo consultar la siguiente tabla para determinar el valor en cada



caso particular y para remediar dichas condiciones de drenaje se recomienda el empleo de subdrenes y capas de sub base permeables, etc.

**Valores recomendados del coeficiente de drenaje ( $m_1$ )**

Condiciones del Drenaje	porcentaje del tiempo en que la estructura del pavimento se encuentra expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación			
	≤1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.3	1.30-1.2	1.20
Buena	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.0	1.00
Regular	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Mala	1.15-1.05	1.15-0.80	0.80-0.60	0.60
Muy mala	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

Condiciones de drenaje 50% de saturación.	lapso para que el suelo sea drenado hasta alcanzar
Excelente	2 horas
Buena	1 día
Regular	7 días
Mala	1 mes
Muy mala	infinito

En caso de que  $m_1 = 1$  se considera que las condiciones de drenaje no causan impacto en el espesor del pavimento, si es menor que uno el espesor se incrementa y para valores superiores a uno el espesor decrecerá.

- ➔ **Confiabilidad (R, Zr, So):** se puede definir como la probabilidad estadística de que el pavimento cumpla con su vida de diseño. El nivel de confianza para un proyecto, debe seleccionarse de acuerdo con el tipo e importancia de la carretera, tomando en cuenta las recomendaciones de la siguiente tabla.

**NIVELES DE CONFIANZA SUGERIDOS PARA DIFERENTES TIPOS DE VIALIDADES Y CARRETERAS**

TIPO DE VIALIDAD	NIVEL DE CONFIANZA	
	VIALIDADES URBANAS	CARRETERAS
Autopistas y carreteras de 1er orden	85-99.9	80-99.9
Carreteras y vialidades principales	80-99	75-95
Carreteras y vialidades secundarias	80-95	75-95
Vialidades de acceso y calles en general	50-80	50-80



Relación entre el nivel de confianza y la desviación normal estándar

Nivel de confianza R	Desviación normal estándar ( $Z_r$ )	$Z_r S_o$
50	0.00	0.0
75	-0.674	-0.236
80	-0.841	-0.294
85	-1.037	-0.363
90	-1.282	-0.449
95	-1.645	-0.576
99.9	-3.090	-1.082

- ➔ **Módulo de resiliencia ( $M_r$ ):** este valor que es una medida de las propiedades elásticas del suelo ha substituido al C.B.R y al dato de R del estabilometro de Hveem, aunque por la falta de tecnología se ha requerido establecer correlaciones, que están dadas por las siguientes expresiones:

$$M_r \text{ (p.s.i.)} = 1500 * \text{C.B.R.} \quad \text{Prueba de V.R.S.}$$
$$M_r \text{ (psi.)} = 1000 + 555 * R \quad \text{Prueba del estabilometro.}$$

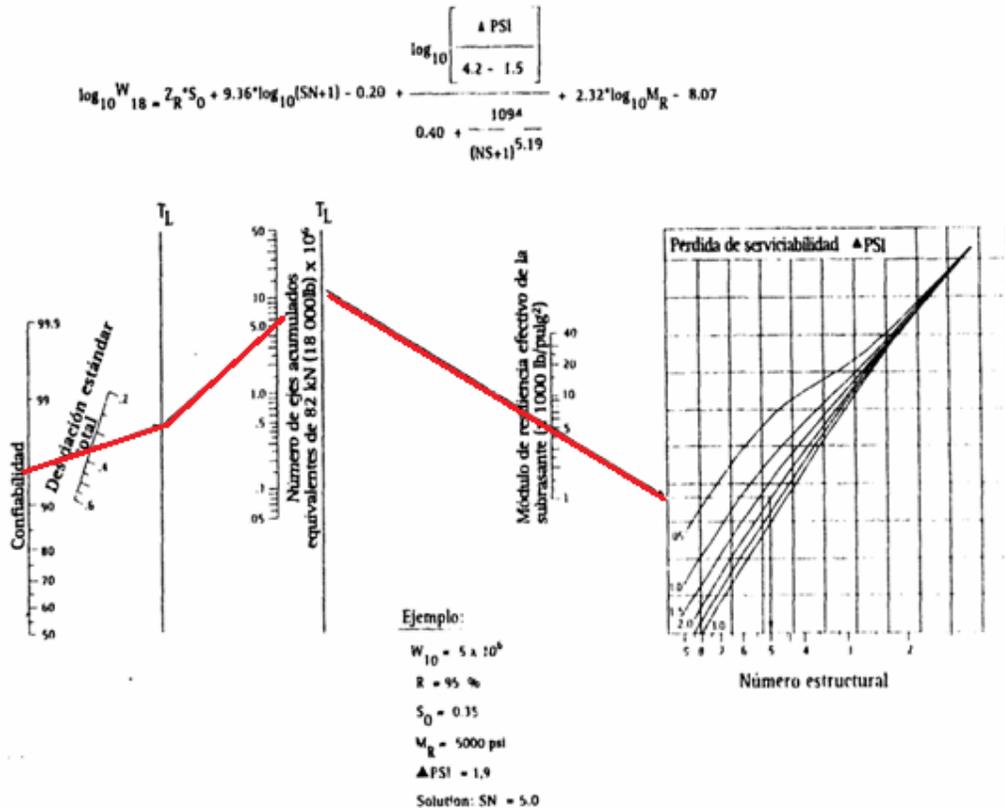
Siendo dichas expresiones solo para suelos finos granulares, en suelos arcillosos y expansivos se tomara precauciones y se realizara un análisis más detallado para determinar el  $M_r$  y se tomara en cuenta las siguientes recomendaciones:

Asegurar que las condiciones de compactación se cumplan

En suelos expansivos o resilientes se mantendrá el contenido de humedad bajo límites razonables que no afecten su comportamiento, para esto se analizara de manera más detallada las cuestiones de drenaje y subdrenaje o bien procesos de estabilización.

- ➔ **COEFICIENTE DE CAPA ( $a_i$ ):** el método proporciona graficas de donde pueden obtenerse los coeficientes de capa aplicables a los diferentes materiales de las capas consideradas de la estructura del pavimento en función del  $M_r$  correspondiente.

- ✚ Los materiales empleados en cada una de las capas de la estructura de un pavimento flexible, de acuerdo a sus características presentan un coeficiente estructural, dicho valor representa la capacidad estructural del material para resistir las cargas solicitantes.



Ejemplo: el número de ejes acumulados de 8.2 toneladas durante la vida útil del camino es de  $5 \times 10^6$  de acuerdo con los aforos efectuados y considerando los diferentes tipos de vehículos que circularan por este camino.

Se propone un nivel de confianza de 95% considerando que será una carretera o vialidad principal de acuerdo el número de ejes considerado.

La desviación estándar ( $S_0$ ) o error estadístico se propone entre el rango de 0.3 a 0.4, entonces es de 0.35.

El módulo de **resiliencia** ( $M_R$ ) que se obtuvo del material que se empleara en la subrasante es de **5000 psi**. Considerando que se obtuvo de una prueba de CBR. Y se realizó la correlación necesaria.

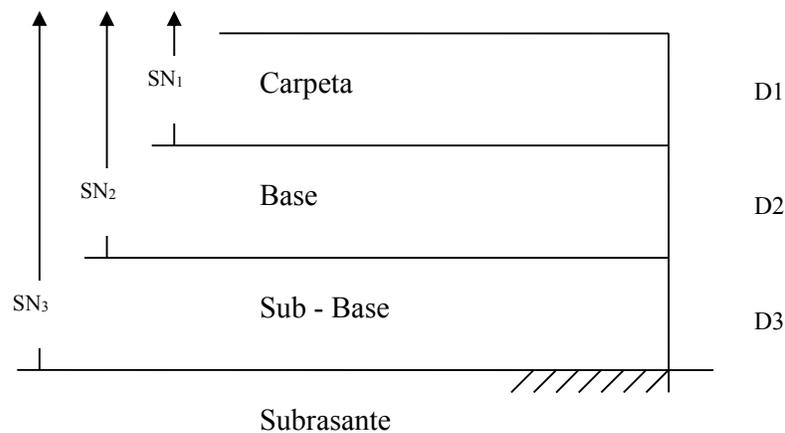
El índice de serviciabilidad ( $\Delta \text{PSI}$ ) propuesto corresponde a un pavimento que ya requiere una rehabilitación de acuerdo a la escala vista anteriormente y para este ejemplo será de 2.0.

Solución: Ubicar en el eje de confiabilidad el valor recomendado (95), trazar una recta hasta cortar el valor de la desviación estándar (0.35) y prolongarlo hasta el eje de apoyo ( $T_L$ ). De ese punto de apoyo trazar una recta hasta unirlo con el valor del número de ejes acumulados de 8.2 toneladas ( $5 \times 10^6$ ) y prolongarla hasta el otro eje de referencia ( $T_L$ ).

Desde este sitio trazar una línea hasta cortar el valor del módulo de resiliencia de la subrasante (5000 psi.) y prolongarlo hasta el cuadro de pérdida de serviciabilidad, en la



parte exterior del mismo, de este sitio unirlo con el dato de pérdida de serviciabilidad (2.0) donde se corte se traza una recta hacia el eje de las abscisas donde se encontrara el número estructural con el cual se diseña el espesor de las diferentes capas del pavimento para este caso el **número estructural (SN)** es de **4.7**.  
De este número estructural se procede a desarrollar el grosor de las capas que forman el pavimento y que son: carpeta, base y sub base.  
Procedimiento para determinar el espesor de las capas.



$$D^*_1 \geq SN_1 / a_1$$

$$SN^*_1 = a_1 D_1 \geq SN_1$$

$$D^*_1 \geq SN_2 - SN^*_1 / a_2 m_2$$

$$SN^*_1 + SN^*_2 \geq SN_2$$

$$D^*_3 \geq SN_3 - (SN^*_1 + SN^*_2) / a_3 m_3$$

Nota:

1.  $a, D, m$ , y  $SN$  corresponden a valores mínimos requeridos.
2.  $D^*$  y  $SN^*$  representan los valores finales de diseño.



## ESPEORES MÍNIMOS

Trafico ESAL	Concreto asfáltico D <sub>1</sub>	Capa base D <sub>2</sub>
50 000	1.0 ó trat. Superficial.	4"
50 000-150 000	2"	4"
150 001-500 000	2.5"	4"
500 0001-2 000 000	3.0"	6"
2 000 001-7 000 000	3.5"	6"
7 000 000+	4.0"	6"

Diseño empleando espesores mínimos.

$D_1 = 3.5'' = D_1^*$  (ver tabla de espesores mínimos).

$SN_1^* = a_1 D_1^* = 0,3 \times 3,5 = 1,05$  (parte del número estructural)

$SN_2 = 2,8$  (no cambia)

$D_2^* \geq (SN_2 - SN_1^*) / a_2 m_2 = (2,8 - 1,05) / 0,125 / 0,8$

$D_2^* = 11,2''$

$SN_1^* + SN_2^* \geq SN_2$

$SN_2^* \geq SN_2 - SN_1^* = 2,8 - 1,05$

$SN_2^* = 1,75$

$SN_3 = 4,7$

$D_3 \geq 4,7 - (1,05 + 1,75) / (0,103) (0,8) = 23,05$

$D_3 = 23''$



Figura 2.4 Gráfica para determinar el coeficiente estructural de capa "a<sub>1</sub>" en función del módulo elástico del concreto asfáltico

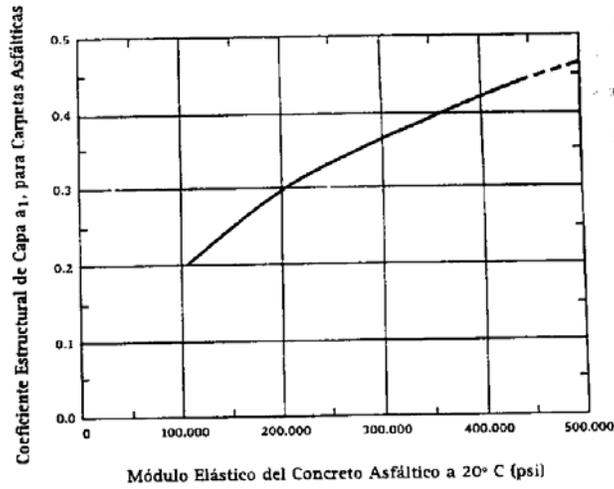
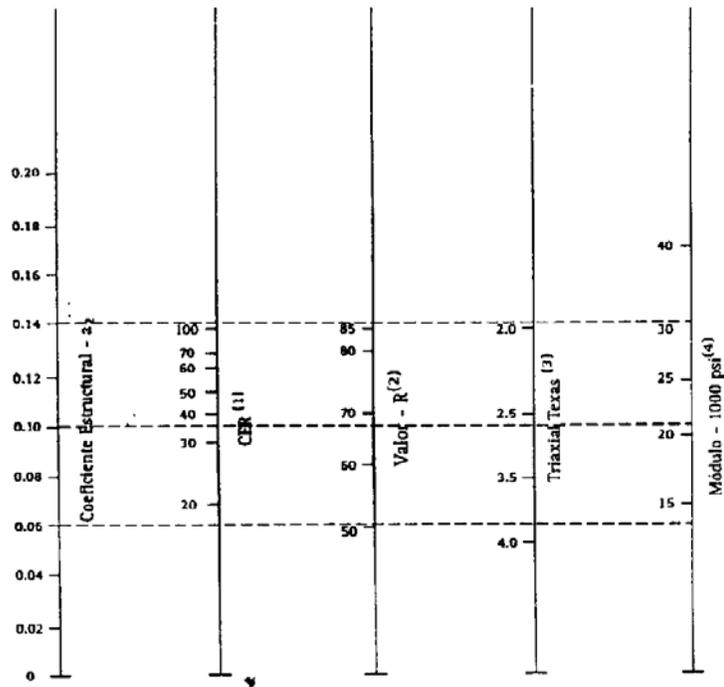
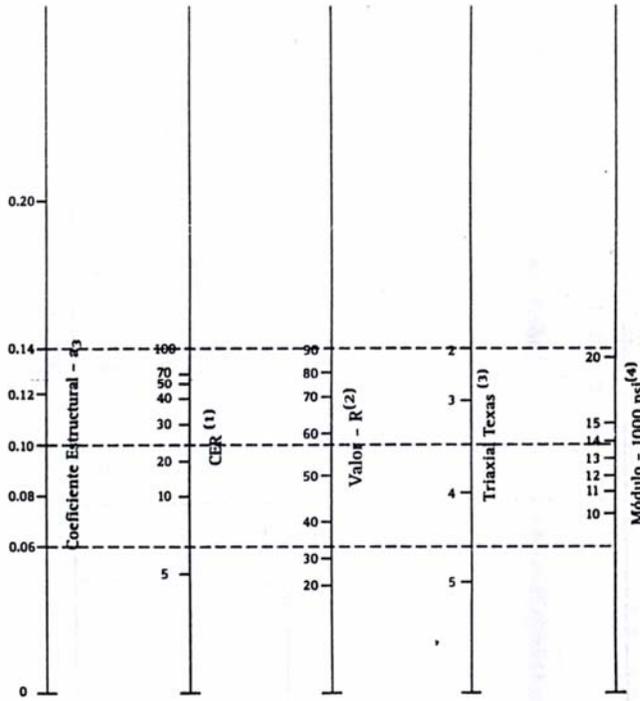


Figura 2.5 Variación de los coeficientes de capa "a<sub>2</sub>", en bases granulares



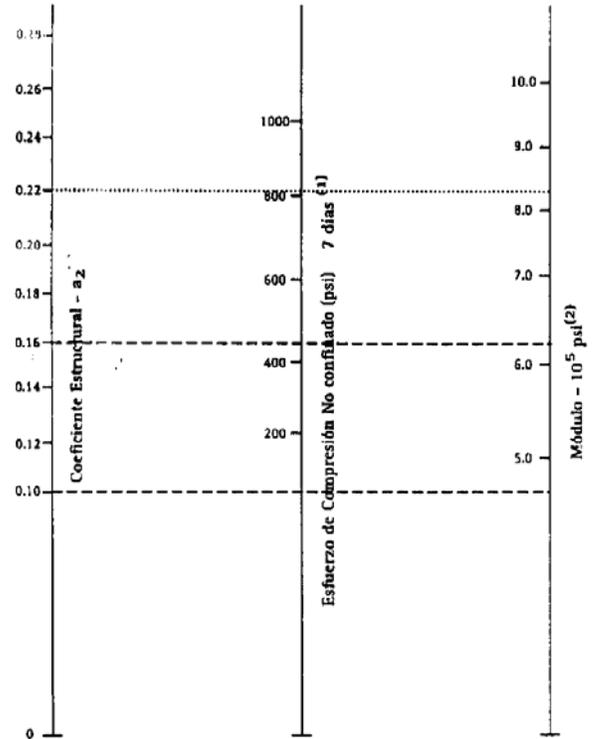
- (1) Escala derivada por correlaciones promedio obtenidas de Illinois.
- (2) Escala derivada por correlaciones promedio obtenidas de California, Nuevo México y Wyoming.
- (3) Escala derivada por correlaciones promedio obtenidas de Texas.
- (4) Escala derivada del proyecto (3) del NCHRP.

Figura 2.6 Variación de los coeficientes de capa "a<sub>3</sub>", en sub-bases granulares



- (1) Escala derivada por correlaciones de Illinois.
- (2) Escala derivada por correlaciones promedio obtenidas del Instituto del Asfalto, California, Nuevo México y Wyoming.
- (3) Escala derivada por correlaciones obtenidas de Texas.
- (4) Escala derivada del proyecto (3) del NCHRP.

Figura 2.7 Variación de los coeficientes de capa "a<sub>2</sub>", en bases estabilizadas con cemento Portland



- (1) Escala derivada por correlaciones promedio obtenidas de Illinois, Louisiana y Texas.
- (2) Escala derivada del proyecto (3) del NCHRP.



ESTIMACIÓN DEL MODULO DE RIGIDEZ DE LA CAPA ASFÁLTICA  
BASADOS EN DIFERENTES MÉTODOS Y PARÁMETROS.

**Basados en el método Shell.**

Volumen de vacíos (Vv) %	4	
Volumen de asfalto (Vb) %	6.5	
Penetración a 25° C. (Mm. /10)	60.0	
Temperatura de reblandecimiento (°C)	50.0	asfalto AC-20
Temp. Equiv. De capa asfáltica (°C)	38.0	
Tiempo de aplicación de carga (S.)	0.026	

Módulo de rigidez (shell-uge) = 33 000 kg. /cm<sup>2</sup>

Módulo de rigidez (shell-heuk)= 109 081 kg. /cm<sup>2</sup>

**Método del Instituto del Asfalto**

%pasa malla 200	5.0%	
Viscosidad absoluta	3.71 poises	
Frecuencia de aplicación de la carga (Hz.)	10	
Módulo de rigidez	29 622 kg. /cm <sup>2</sup>	

**Método de Witzack:**

% retenido en ¾	5 %
% retenido 3/8	15 %
%retenido en No. 4	10 %
Tipo de asfalto empleado	AC-20

Estos valores se emplean en el método DISPAV- 5 empleado en la actualidad por la S.C.T.

Los datos se pueden modificar para obtener distintos módulos de rigidez, basándose en el tipo de mezcla que se tenga.



## **MÉTODO DISPAV-5**

El DisPav es un programa de tipo interactivo que permite calcular tanto carreteras de altas especificaciones, como carreteras normales, su fundamento es teórico-experimental y para su aplicación se emplean conceptos y métodos de cálculo mecanicistas.

El programa utiliza los planteamientos presentados en los informes 325 y 444 del instituto de ingeniería de la UNAM, además está complementado con los resultados de numerosas investigaciones realizadas de 1964 a 1988 y la información existente en el ámbito internacional.

Entre las mejoras incluidas, respecto al método original publicado en 1974, está la de incorporar un modelo mecanicista para determinar las deformaciones unitarias de fatiga, basadas en los estudios experimentales realizados en el instituto de ingeniería de la UNAM.

También se agregó un nuevo modelo desarrollado para diseñar estructuras de carreteras de altas especificaciones tomando en cuenta, tanto la deformación permanente acumulada (rodera) como el agrietamiento a fatiga en las capas ligadas con asfalto.

### **PARÁMETROS REQUERIDOS POR EL PROGRAMA.**

#### ***Tipo de carretera.***

El programa solicita la elección de un tipo de carretera, y permite elegir entre una carretera de altas especificaciones y una carretera normal.

La elección de una carretera de altas especificaciones se recomienda para los casos en los que se requiere mantener un alto nivel de servicio en la superficie de rodamiento hasta el final de la vida de diseño. Para este caso, el programa considerará una deformación máxima de 1.2 cm. al término de la vida de diseño del pavimento, además de que el agrietamiento de la carpeta será ligero o medio.

La elección de una carretera normal es adecuada para aquellos casos en los que la deformación permanente aceptada al final de la vida de diseño sea de hasta 2.5 cm, en este tipo de diseño la carpeta tendrá un agrietamiento medio o fuerte, además de que será necesario realizar mantenimiento de rutina frecuentemente.



### ***Tránsito de proyecto.***

Para el diseño del pavimento el programa requiere de dos tránsitos de proyecto; un tránsito equivalente será empleado en el diseño por fatiga (daño superficial), el otro tránsito equivalente será empleado para el diseño por deformación permanente (daño profundo).

El tránsito equivalente se refiere a ejes sencillos con llantas gemelas y peso estándar de 8.2 toneladas; y produce el mismo daño que el tránsito mezclado real.

El DisPav, permite ingresar de dos maneras el tránsito de proyecto; cuando es conocido, bastara con ingresar el número expresado en millones de ejes equivalentes, en caso contrario, el número de ejes equivalentes será obtenido a partir de datos de tránsito mezclado, cuando se opta por la segunda opción, el DisPav requerirá de los siguientes datos: tránsito promedio diario, composición del tránsito, proporción de vehículos cargados y vacíos, tasa de crecimiento anual y periodo de proyecto.

### ***Capas Consideradas.***

Al iniciar el diseño, el proyectista deberá proponer el número de capas con las que desea contar en el pavimento, el DisPav permite incluir un máximo de 5 capas en el diseño y requiere un mínimo de 2; las cinco capas que podrán ser empleadas en el diseño serán: Carpeta, base (granular o estabilizada con cemento asfáltico), sub.-base, subrasante y terracería.

### ***Valor relativo de soporte crítico (VRSz).***

Este valor es solicitado para cada una de las capas de material no estabilizado (base granular, sub.-base, subrasante y terracería), deberá ser razonable, de acuerdo a las condiciones esperadas en el camino durante la vida en servicio del pavimento.

### ***Módulos elásticos de las capas no estabilizadas.***

Estos parámetros son requeridos para el diseño por fatiga, cuando el proyectista desconoce estos módulos, el DisPav ofrece la alternativa de calcularlos a partir del VRSz mediante la expresión  $E = 130 \text{ VRSz}^{0.7}$  (formula desarrollada por el propio Instituto de ingeniería de la UNAM).

Aunque el método permita estimar el módulo elástico con la expresión anotada, se sugiere que el proyectista ingrese los valores reales, obteniéndolos de la prueba de Modulo de Resiliencia.

### ***Módulo de rigidez de la carpeta.***

Este valor puede ser obtenido mediante un programa de nombre MODULO-5, el cual está incluido en el paquete de programas del DisPav; MODULO-5 permite estimar el módulo de rigidez de la carpeta basado en la experiencia de diferentes instituciones como: Shell, AsphaltInstitute, Instituto del Transporte de Texas y Wirzack.



Para la obtención del módulo de rigidez es necesario conocer la composición volumétrica de la mezcla (volumen de vacíos, volumen de asfalto), composición volumétrica del pétreo (Retenido en malla  $\frac{3}{4}$ " , retenido en malla  $\frac{3}{8}$ " retenido en malla # 4 y porcentaje que pasa la malla 200), las características del asfalto (penetración, temperatura de reblandecimiento, tipo de asfalto empleado), frecuencia de aplicación de las cargas (en segundos) y la temperatura de servicio de la carpeta.

***Relación de Poisson.***

Este parámetro es obtenido de cualquier prueba que permita medir la deformación horizontal y vertical de un espécimen, como el ensaye triaxial o la prueba de módulo de resiliencia. Cuando la relación de Poisson no es conocida por el proyectista, el DisPav proporciona valores promedio para cada capa del pavimento por analizar.

***Nivel de confianza de proyecto.***

Este valor se refiere a la probabilidad de que el pavimento tenga una vida útil al menos igual a la esperada en el proyecto. El DisPav propone un valor de 85 %, permitiendo cambiar este valor de acuerdo al criterio y experiencia del proyectista.

Con los parámetros enunciados en los párrafos anteriores, el DisPav iniciara el diseño del pavimento y propondrá los espesores de las capas que el proyectista haya considerado.



**EJECUCIÓN DEL PROGRAMA E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.**

Para ejemplificar el uso del programa, emplearemos datos obtenidos del “Curso Internacional sobre Conservación de Carreteras”, realizado en Zanfandila, Querétaro, México.

Los datos han sido obtenidos del SEP Versión 1.0 (Sistema de Evaluación de Pavimentos).

**Condiciones de Tránsito**

Origen: APIZACO / Destino: TEJOCOTAL      Fecha: Lunes 18 Agosto 2003  
 Tramo: LIM. DE EDOS. TLAX/PUE. / LIM. DE EDOS. PUE/HGO.  
 Subtramo: 348 - 110.46 Km  
 Coord.O Latitud: 0 ° 0 ' 0 " Longitud: 0 ° 0 ' 0 " Altitud: 0 msnm  
 Coord.D Latitud: 0 ° 0 ' 0 " Longitud: 0 ° 0 ' 0 " Altitud: 0 msnm  
 Origen de los Datos: Administrador del Instituto Mexicano del Transporte

Crecimiento de Tránsito Anual: 2 %      Periodo de diseño: 15 años  
 T.D.P.A.: 3334      No. Carriles: 2      Fecha del Registro de T.D.P.A.: 17/05/1996  
 Porcentaje de vehículos pesados: 18 %  
 Porcentaje de Distribución Cargados: 55 %      Ejes Equivalentes: 734652

Vehículo	% Composición Vehicular	Vehículos		Peso bruto vehicular real, en toneladas		Núm. de llantas	Peso bruto vehicular legal, en toneladas		
		Cargados %	Vacíos %	Vacío	Cargado		TIPO DE CAMINO		
							A4 y A2 R4 y B2	C	D
B3	3	4.95	4.05	8	26	10	26	23	20.5
C2	2	1.1	0.9	10	17.5	6	17.5	15.5	14
C3	6	3.3	2.7	15	26	10	26	23	20.5
T3-S2	1	0.55	0.45	16	44	18	44	39	NA
T3-S3	0	0	0	17	48.5	22	48.5	43	NA
T3-S2-R4	0	0	0	18	66.5	34	66.5	58	NA

NA = No Autorizado

Tabla de las condiciones de tráfico en el tramo analizado, de acuerdo con el Sistema de Evaluación de Pavimentos.



**Datos Geotécnicos**

Origen: ARIZACO Destino: TEJOCOTAL Fecha: Lunes: 18 Agosto 2003  
Tramo: LIM. DE EDOS. PJE/HGO. / LIM. DE EDOS. TLAX/PUE.  
Subtramo: 34.8 - 110.46 Km  
Coord.D Latitud: 0 ° 0 ' 0 " Longitud: 0 ° 0 ' 0 " Altitud: 0 msnm  
Coord.D Latitud: 0 ° 0 ' 0 " Longitud: 0 ° 0 ' 0 " Altitud: 0 msnm  
Origen de los datos: Administrador del Instituto Mexicano del Transporte

Pavimento de Concreto Asfáltico

		Espesores			
OBLIGATORIO	1. Sobre Carpeta:	0	cm		
	2. Carpeta Asfáltica:	14.2	cm		
OPCIONAL	3. Base:	14.5	cm	VRS	105
	4. Sub-Base:	14.3	cm		58
	5. Sub-Fasante:	18.6	cm		41
	6. Terreno Natural:				21

¿ Agregar otra capa ?  Si

Capa:  Espesor:  cm Posición:  -  VRS:

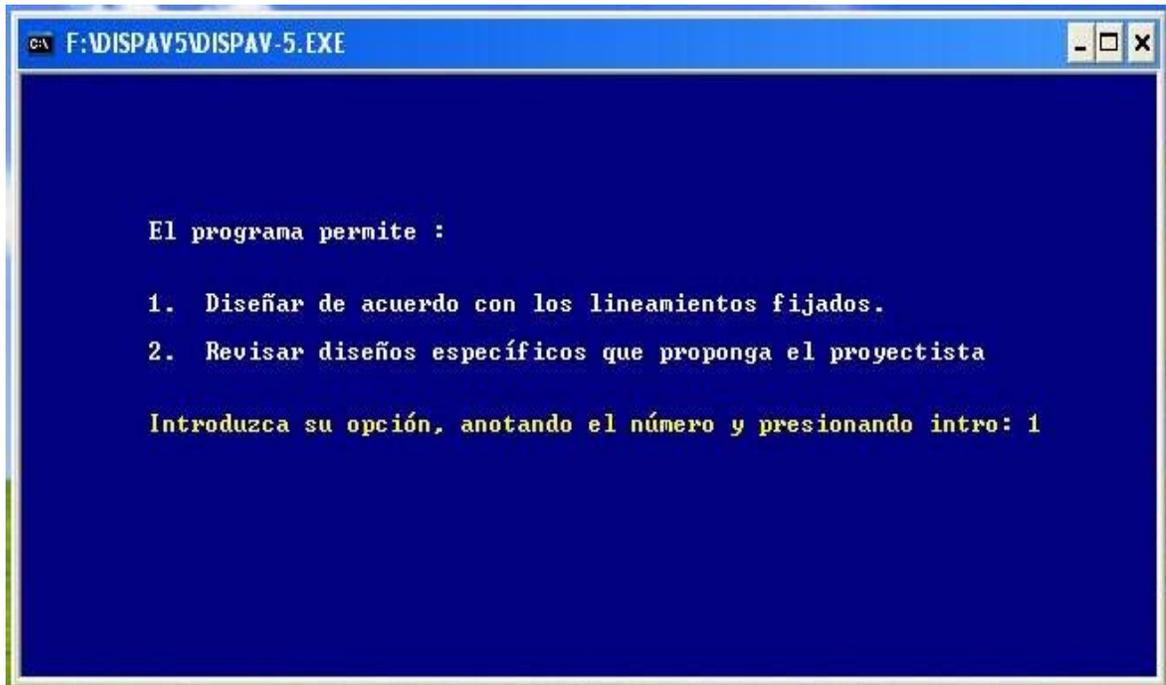
Datos geotécnicos en las fechas siguientes: (día/mes/año)

Tabla de los datos geotécnicos en el tramo analizado, de acuerdo con el Sistema de Evaluación de Pavimentos.

Además de los datos anteriores, consideraremos que el módulo de rigidez de la carpeta es de 30,000 Kg. /cm<sup>2</sup>.



**ELECCIÓN ENTRE DISEÑO DE PAVIMENTO NUEVO O REVISIÓN DE UNA SECCIÓN PROPUESTA.**



Pantalla mostrada por el DisPav, para la elección entre un diseño o la revisión de la estructura de un pavimento.

Para este ejemplo se ha elegido diseñar de acuerdo con lineamientos fijados, por lo tanto se debe seleccionar la primera opción.



**ELECCIÓN DEL TIPO DE CAMINO (ALTAS ESPECIFICACIONES O NORMAL).**

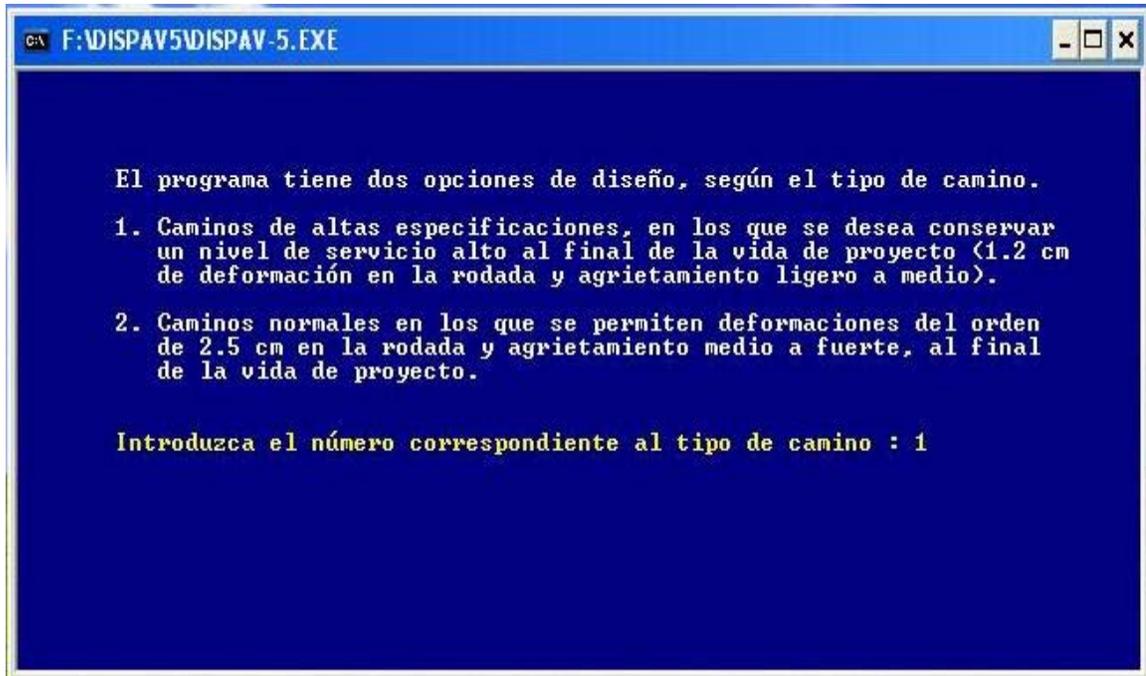


Tabla mostrada por el DisPav, para la elección del tipo de camino.

En este caso, se considera que el pavimento debe conservar un alto índice de servicio durante la vida de proyecto; por lo tanto se señala la primera opción.



### INGRESO DEL TRÁNSITO DE PROYECTO.



Imagen mostrada por el DisPav, para la elección de la forma de ingreso del tránsito de proyecto.

Como se desconoce el tránsito de proyecto, pero es conocido el TDPA así como la composición vehicular, se indica al programa la segunda opción.



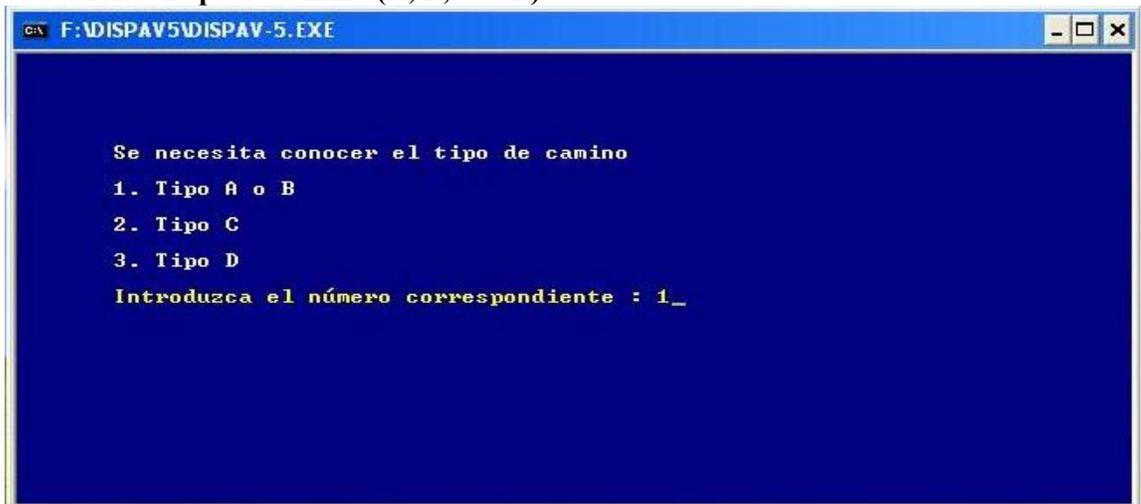
**INGRESO DE DATOS (TDPA, TASA DE CRECIMIENTO Y PERIODO DE PROYECTO).**

Los datos indican que existen 2 carriles en el camino, a falta de mayor información, se considera que la distribución de vehículos en la vialidad es del 50 %, por lo tanto se introduce el valor de 1667 como TDPA para el carril de diseño; la tasa de crecimiento vehicular y el periodo de diseño serán los anotados en la tabla.



Pantalla mostrada por el DisPav, para la introducción de datos (TDPA, Tasa de crecimiento y Periodo de proyecto).

**Selección del tipo de camino (A, B, C o D).**



Ventana mostrada por el DisPav, para la selección del tipo de camino. Para este proceso, se considera que se trata de una vialidad importante y por lo tanto, se tomara la primera opción.



### INTRODUCCIÓN DE LOS DATOS DE TRANSITO MEZCLADO.



Ventana mostrada por el DisPav, para la introducción de datos de transito mezclado.

**Entrada del porcentaje de vehículos cargados (Igual para todos los vehículos o para cada tipo de vehículo).**

De los datos, es conocido que el porcentaje de vehículos cargados es del 55%, por lo tanto se elige la primera opción y a continuación se introduce el valor.

A continuación, el DisPav mostrara datos de las cargas consideradas para cada eje de cada vehículo participante en el diseño del pavimento, así como las presiones de inflado de los neumáticos. El programa también permite modificar esos valores, a criterio del diseñador.



```
F:\DISPAV5\DISPAV-5.EXE

Los vehículos tipo A se supone que siempre están cargados.
Los autobuses y vehículos de carga (tipos B, C y T), pueden
circular vacíos en un cierto porcentaje de casos.
Se requiere conocer el porcentaje de camiones cargados en el carril
de proyecto.
Se tienen dos opciones:
1. Emplear un porcentaje de vehículos cargados aplicable a todos los
vehículos comerciales (un porcentaje promedio).
2. Emplear un porcentaje de vehículos cargados para cada tipo de
vehículo.
Introduzca la opción que desea aplicar (1 o 2): 1
En ausencia de información más confiable se sugiere emplear una
proporción de camiones cargados entre 60 y 80%, (entre 40 y 20% de
camiones vacíos).
Introduzca la proporción de camiones cargados que juzgue correcta (<%) : 55_
```

Pantalla mostrada por el DisPav, para la introducción del porcentaje de vehículos cargados.

```
F:\DISPAV5\DISPAV-5.EXE

Camión T3-S2

Eje          1          2          3
Tipo         Sencillo   Doble     Doble
Carga*       6.5        19.5      18.0
Presión**    6.0        6.0       6.0

* Carga total del eje, sencillo, doble, triple, en toneladas
** Presión de inflado en condiciones de servicio, en kg/cm2

Se han indicado las cargas máximas legales por eje, en toneladas,
según aparecen en el decreto publicado el 7 de enero de 1997 (en algunos
casos la carga por eje se ajustó para no sobrepasar la carga máxima
total del vehículo). Puede modificarlas de acuerdo con su proyecto.

¿Quiere hacer modificaciones? (s/n) : _
```

Pantalla expuesta por el DisPav, con los valores considerados en cuanto a carga y presión de inflado de los neumáticos por eje.



El programa, ahora muestra el número total de millones de ejes equivalentes a diferentes profundidades.

```
F:\DISPAV5\DISPAV-5.EXE

Tránsito de proyecto en millones de ejes estándar para una profundidad de :
  Z = 5 cm      Z = 15 cm    Z = 30 cm    Z = 60 cm    Z = 90 cm    Z = 120 cm
    5.6         4.3         4.0         5.0         5.3         5.4

Se sugiere emplear el tránsito de proyecto determinado a 15 y 90 cm
para diseño por fatiga y deformación permanente, respectivamente.
Pero usted puede tomar la profundidad más adecuada a su proyecto.

¿Acepta la sugerencia? <s/n> _
```

Ventana mostrada por el DisPav, con el número de millones de ejes equivalentes a diferentes profundidades.

#### **ELECCIÓN DEL TRÁNSITO DE PROYECTO PARA LOS DISEÑOS POR DEFORMACIÓN Y FATIGA.**

El DisPav permite hacer un Diseño por Deformación en las capas no estabilizadas y un Diseño por Fatiga en la capa o capas estabilizadas con asfalto.

Para cada diseño, se debe seleccionar la profundidad con la cual se desea trabajar, el programa sugiere tomar los tránsitos de proyecto a las profundidades de 15 cm para diseño por fatiga y 90 cm. para diseño por deformación.

En este ejemplo se acepta la propuesta del DisPav.



```
F:\DISPAV5\DISPAV-5.EXE

El tránsito de proyecto, en millones de ejes estándar, es :
(a) Por fatiga en las capas estabilizadas :      4.3
(b) Por deformación en capas no estabilizadas :  5.3

¿Quiere imprimir los resultados <s/n>? _
```

Figura mostrada por el DisPav, con el tránsito de proyecto, para los diseños por fatiga y deformación.

#### ELECCIÓN DEL NÚMERO DE CAPAS CONSIDERADAS EN EL PAVIMENTO.

```
F:\DISPAV5\DISPAV-5.EXE

El programa permite analizar pavimentos que contengan algunas
de las siguientes capas (o todas ellas).

1. Carpeta
2. Base granular
3. Sub-base
4. Subrasante
5. Terracería

Introduzca el número de capas de que consta el pavimento: 5
```

Pantalla mostrada por el DisPav, para la selección del número de capas que se consideraran en el diseño del pavimento.

En el ejemplo se consideran todas las capas del pavimento, por tal motivo se elige diseñar con las 5 capas.



### INTRODUCCIÓN DE LOS VRSz DE LAS CAPAS NO ESTABILIZADAS CON ASFALTO.



Imagen mostrada por el DisPav, para la introducción de los VRSz de las capas no estabilizadas con asfalto.

De los datos mostrados en la figura se han tomado los valores que han de utilizarse para cada capa.

El DisPav muestra además los VRSp (valor relativo de soporte de proyecto) que utilizara en el diseño del pavimento.

Los VRSp, son sugeridos por el programa, ya que en el campo existen variaciones de humedad y temperatura, por lo cual los VRSz, pueden ser afectados y variar, el VRSp siempre será menor al VRSz, en caso contrario, el programa finalizara automáticamente.



```
F:\DISPAV5\DISPAV-5.EXE

Capa          URSz      URSp      Mod de rigidez
Carpeta
Base granular 105       105       -
Sub-base      58        30
Subrasante    41        20
Terracería    21        20

Por razones de estructuración, se establecen URSp de proyecto (mínimos y máximos) en las capas no asfálticas. Si el URSz<URSp el diseño no puede efectuarse; y si URSz>URSp el diseño se hace con URSp.

Se requiere el módulo de rigidez de la carpeta; si no tiene estimado su valor debe terminar esta corrida para hacerlo. En ese caso apriete solo la tecla de entrada.
```

Elementos mostrados por el DisPav, con los VRS de proyecto que utilizara para el diseño del pavimento.

#### INTRODUCCIÓN DE LOS VALORES DE MODULO DE RIGIDEZ PARA TODAS LAS CAPAS CONSIDERADAS EN EL DISEÑO DEL PAVIMENTO.

```
F:\DISPAV5\DISPAV-5.EXE

Capa          URSz      URSp      Mod de rigidez
Carpeta
Base granular 105       105       30000
Sub-base      58        30        3379
Subrasante    41        20        2230
Terracería    21        20        1749
              21        20        1095

Se han sugerido algunos valores como módulos de rigidez de capas no estabilizadas. Esos valores se obtuvieron de:  $E=130 (URS_z^{.7})$ . Esta ecuación se obtiene para condiciones generales y puede requerir adecuaciones en casos particulares.

¿Quiere hacer cambios en algún valor? (s/n) _
```

Pantalla mostrada por el DisPav, con los Módulos de Rigidez para cada capa considerada en el diseño del pavimento.



De los datos, es conocido el módulo de rigidez de la carpeta, pero se desconocen los módulos de rigidez de las capas no estabilizadas con asfalto, el DisPav permite estimar el módulo de rigidez con una fórmula desarrollada por el propio Instituto de Ingeniería de la UNAM; la fórmula es:

$$E = 130 \text{ VRS}^{0.7}$$

**INTRODUCCIÓN DE LA RELACIÓN DE POISSON PARA CADA CAPA CONSIDERADA EN EL DISEÑO DEL PAVIMENTO.**



Imagen mostrada por el DisPav, con la relación de Poisson para cada capa considerada en el diseño del pavimento.

La relación de Poisson también puede ser obtenida de cualquier prueba en la cual sea posible medir la deformación vertical y horizontal de una muestra de suelo, como la prueba triaxial; pero al carecer de estos datos, se aceptan los propuestos por el DisPav.

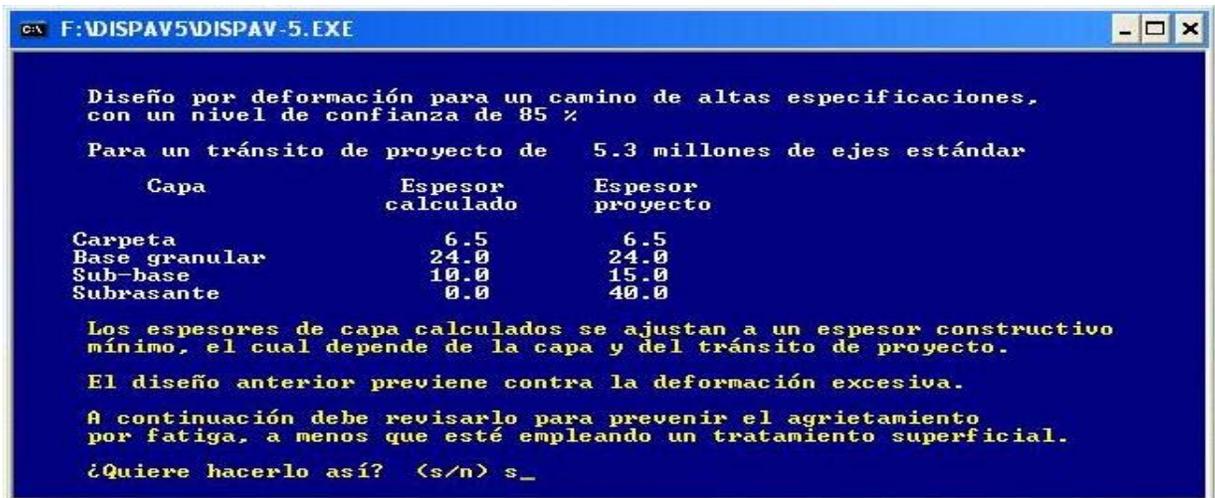


### ELECCIÓN DEL NIVEL DE CONFIANZA PARA EL DISEÑO DEL PAVIMENTO.

El nivel de confianza puede ser entre 55 % y 99%, para este ejemplo, se acepta el nivel de confianza propuesto por el DisPav del 85 %.



Pantalla mostrada por el DisPav, para la introducción del nivel de confianza considerado en el diseño del pavimento.



Pantalla mostrada por el DisPav, con los resultados de los espesores calculados y de proyecto.



A continuación, el programa muestra los resultados de los espesores de diseño para cada capa, también muestra los espesores que se utilizarán para el proyecto; la razón de esto es que las normas establecen espesores mínimos para cada capa en función del tránsito.

El diseño mostrado anteriormente es por deformación, el programa sugiere hacer una revisión del diseño por Fatiga, para este ejemplo, se acepta la sugerencia.

El programa mostrará una pantalla en la que se indican los espesores del diseño anterior, los VRSz, los Mod. de Rigidez, las Relaciones de Poisson y la vida previsible por deformación y por Fatiga de cada capa.



Ventana mostrada por el DisPav, con los resultados del diseño anterior y los datos utilizados para el diseño por deformación.

### Diseño por Fatiga.

Para realizar este diseño, el programa permite elegir entre 4 opciones:

- 1.- Cambiar el Modulo de Rigidez de la carpeta.
- 2.- Cambiar espesores.
- 3.- Emplear una Base Asfáltica.
- 4.- Salir del programa.

En este ejemplo, se ha elegido la segunda opción y por lo tanto se proponen nuevos espesores para cada capa.

Para que el diseño por fatiga sea apropiado, se debe tratar que la vida previsible sea similar al tránsito de proyecto con un rango de aproximación de +/- 10 %.



En este paso, se iterara tantas veces como sea necesario a fin de obtener el diseño apropiado.

Los espesores propuestos para el diseño por fatiga serán los siguientes:

Carpeta: 12.0 cm.  
Base: 24.0 cm.  
sub.-base: 15.0 cm.  
Subrasante: 40.0 cm.  
Terracería: Semi- infinito

```

F:\DISPAV5\DISPAV-5.EXE
DATOS Y RESULTADOS DEL DISEÑO
Camino de altas especificaciones. Nivel de confianza en el diseño : 85 %
Capa      H      URSz      E      U      Vida previsible
          cm      %      kg/cm²      Def      Fatiga
Carpeta   12.0      30000      0.35      > 150
Base granular 24.0      105.0      3379      72.2
Sub-base  15.0      58.0      2230      115.7
Subrasante 40.0      41.0      1749      > 150
Terracería Semi-inf 21.0      1095      0.45
          Def      Fatiga
Uida previsible 72.2      6.8
Tránsito proyecto 5.3      4.3
Def deformación 72.2
Fatiga          6.8
La vida previsible es mayor que el tránsito de proyecto.
Tolerancia = Tránsito de proyecto +/- 10%.
Tiene usted cuatro opciones:
1. cambiar módulo de carpeta
2. cambiar espesores
3. emplear base asfáltica.
4. salir del programa
Introduzca el número que corresponde a su opción:

```

Impresión mostrada por el DisPav, con los resultados del Diseño por Fatiga.

Es posible apreciar que la vida previsible por fatiga es mayor a la del tránsito de proyecto en más del 10 %, por lo tanto el diseño no es adecuado al estar sobre diseñado; por lo tanto se proponen espesores diferentes a los anteriores, tratando de realizar un diseño más eficiente.

Los espesores que se han propuesto son los siguientes:

Carpeta: 11.0 cm.  
Base: 20.0 cm.  
sub.-base: 15.0 cm.  
Subrasante: 40.0 cm.  
Terracería: Semi infinito



F:\DISPAV5\DISPAV-5.EXE

DATOS Y RESULTADOS DEL DISEÑO

Camino de altas especificaciones. Nivel de confianza en el diseño : 85 %

Capa	H cm	URSz %	E kg/cm <sup>2</sup>	U	Uida previsible Def	Fatiga
Carpeta	11.0		30000	0.35		4.7
Base granular	20.0	105.0	3379	0.35	103.4	
Sub-base	15.0	58.0	2230	0.45	19.3	
Subrasante	40.0	41.0	1749	0.45	40.6	
Terracería	Semi-inf	21.0	1095	0.45	> 150	

	Uida previsible	Tránsito proyecto
Deformación	19.3	5.3
Fatiga	4.7	4.3

La vida previsible es cercana o mayor que la vida de proyecto el diseño parece adecuado. La tolerancia es +/- 10% del tránsito de proyecto crítico.

¿Quiere explorar otras alternativas? (s/n)

Imagen mostrada por el DisPav, con los resultados del Diseño por Fatiga.

Con los espesores propuestos, el DisPav indica que el diseño parece ser adecuado, ya que la diferencia entre la vida previsible y el tránsito de proyecto es menor al 10 %; pero este no es el único diseño aceptable, en este ejemplo se ha realizado una propuesta alternativa.

Los espesores propuestos para el siguiente diseño serán los siguientes:

- Carpeta: 11.0 cm.
- Base: 15.0 cm.
- sub.-base: 15.0 cm.
- Subrasante: 40.0 cm.
- Terracería: Semi infinito



F:\DISPAV5\DISPAV-5.EXE

DATOS Y RESULTADOS DEL DISEÑO

Camino de altas especificaciones. Nivel de confianza en el diseño : 85 %

Capa	H cm	URS <sub>z</sub> %	E kg/cm <sup>2</sup>	U	Uida previsible Def	Patiga
Carpeta	11.0		30000	0.35		4.1
Base granular	15.0	105.0	3379	0.35	103.4	
Sub-base	15.0	58.0	2230	0.45		5.9
Subrasante	40.0	41.0	1749	0.45		15.9
Terracería	Semi-inf	21.0	1095	0.45	> 150	

	Uida previsible	Tránsito proyecto
Deformación	5.9	5.3
Fatiga	4.1	4.3

La vida previsible es cercana o mayor que la vida de proyecto el diseño parece adecuado. La tolerancia es +/- 10% del tránsito de proyecto crítico.

¿Quiere explorar otras alternativas? (s/n) \_

Pantalla mostrada por el DisPav, con los resultados del Diseño por Fatiga.

Con los espesores propuestos, el diseño sigue siendo adecuado, ya que no difiere en más del 10 % la vida previsible del tránsito de proyecto.

La elección entre un diseño y otro queda a criterio del proyectista, además se deberán considerar los costos de construcción, ya que 5 cm. en la disminución de la base serán reflejados en el costo total de la obra y podría ser lo mismo con otras capas.

El conocer varios métodos de diseño le ayudara al diseñador para ampliar su criterio y tener la elección más adecuada en cuanto a las características del proyecto, que de manera fundamental deberá tener tres parámetros principales: que resulte económico, funcione de manera adecuada estructuralmente y que sea seguro el transitar por él.

Para tener un proyecto adecuado se deben cumplir con varias condiciones

- Que se tenga el diseño más conveniente
- La selección de los materiales a emplearse resulte la adecuada.
- Un proceso constructivo siguiendo los parámetros que marquen las normas de la manera más correcta.

Si se cumplen estas recomendaciones se tendrán carreteras de mejores especificaciones y por consecuencia que requieran de un menor mantenimiento, cumpliendo con el periodo de vida para el que fueron diseñadas, pero si alguno de los eslabones se rompe se volverán a presentar los mismos problemas que se tienen actualmente y quizás con un deterioro económico mayor, ya que la inversión en la actualidad en cuanto a investigación resulta superior, además de que resulta más complicado el tener materiales de una calidad adecuada.



DISEÑO DE PAVIMENTOS DE AEROPISTAS

Se deberán tomar varias consideraciones de la aeronave tipo con la cual se diseñara la pista y que pueden ser las siguientes:

- Grupo sustentador: qué está formado por las alas, de las cuales se obtiene el 80% de la sustentación de la nave
- Grupo de empenaje: en él va empotrada la cola o extremo posterior del fuselaje y está formado por un plano vertical y otro horizontal (alergones, timón de dirección, elevador).
- Fuselaje: es la principal unidad estructural de la aeronave, en la que se soportan las demás unidades y es donde se coloca el pasaje.
- Tren de aterrizaje: es la parte sobre la que se descarga el peso del avión, su configuración puede ser sencilla, doble o en tándem.
- Motor propulsor: son aquellos que proporcionan la potencia a la aeronave, pudiendo ser de propulsión, de hélice, turbo reactores y turbo hélice.

Las características generales del avión para el diseño pueden ser:

**Alcance**, pudiendo ser de corto, mediano y largo alcance de acuerdo al tamaño de la nave de proyecto.

**Peso total**, peso de la estructura + la carga + el combustible.

**Peso básico vacío**; es el peso propio de la nave sin sobrecarga alguna.

**Peso de operación**, es el peso básico + equipo fijo de vuelo + la tripulación.

El peso total de la nave en porcentaje puede ser el siguiente, dependiendo del tipo de nave que se trate.

- Peso de operación ..... 45%
- Carga que paga..... 15%
- Combustible de ruta..... 30%
- Combustible de reserva..... 10%

Peso total ..... 100%

Factores que influyen en los requisitos de resistencia de pavimentos.

- La magnitud y carácter de las cargas de las aeronaves que tenga que soportar.
- El volumen de tránsito.
- La concentración del tránsito en ciertas áreas.
- La calidad de los materiales empleados en la construcción.

Para realizar el diseño de un pavimento en una aérea pista se requieren datos estadísticos del sitio donde se ubicara el aeropuerto, para de esta manera poder estimar que tipo de nave será aquella que más comúnmente emplee dicho aeródromo.

Datos requeridos:



- Área de influencia del aeropuerto: es la región geográfica donde se localizan los usuarios potenciales.
- Estudios socioeconómicos de la región: muestran la realidad económica, política y social de la población considerada.
- Obtención de la demanda de transporte aéreo: en base a esto se conocerán las necesidades de la región y por consecuencia el tipo de nave que se requiere.

**Ejemplo:**

Resumen de pronósticos de la demanda de transporte aéreo

concepto	siglas	cantidad
Pasajeros anuales de aviación comercial	PAC	439,038 pax/anuales/com.
Pasajeros anuales de aviación general	PAAG	4390 pax/anuales/gen
Pasajeros anuales totales	PAT	443,428 pax/anuales/tot
operaciones anuales comerciales	OAC	4,621op/anuales/com.
Operaciones anuales de aviación general	OAAG	1,098op/anuales/gen
Operaciones anuales totales	OAT	5,719 op/anuales/tot
Carga anual	C	3622 Ton.

Las operaciones equivalen a una salida y una llegada, por tanto para el ejemplo de proyecto se tienen 5719 operaciones anuales totales y por consecuencia se presentan 5719 **salidas** y 5719 **llegadas**. Las salidas no críticas de la aeronave son también 5719. Por consecuencia **R<sub>2</sub> = 5,719 salidas**

Con esto ya se tienen los valores para la obtención de las salidas equivalentes de la aeronave crítica que para este ejemplo es la **B727-200**.

<b>R<sub>1</sub></b> = Salidas equivalentes de la aeronave crítica.	¿
<b>R<sub>2</sub></b> = Salidas de la aeronave no crítica	5719
<b>W<sub>1</sub></b> = Peso bruto de la aeronave crítica	351,785 Kg.
<b>W<sub>2</sub></b> = Peso bruto de la nave no crítica	76,660 Kg.

$$\text{Log } R_1 = \text{Log. } R_2 [W_2 / W_1 ]^{1/2} = \text{Log } 5719 [76,660/351785]^{1/2}$$

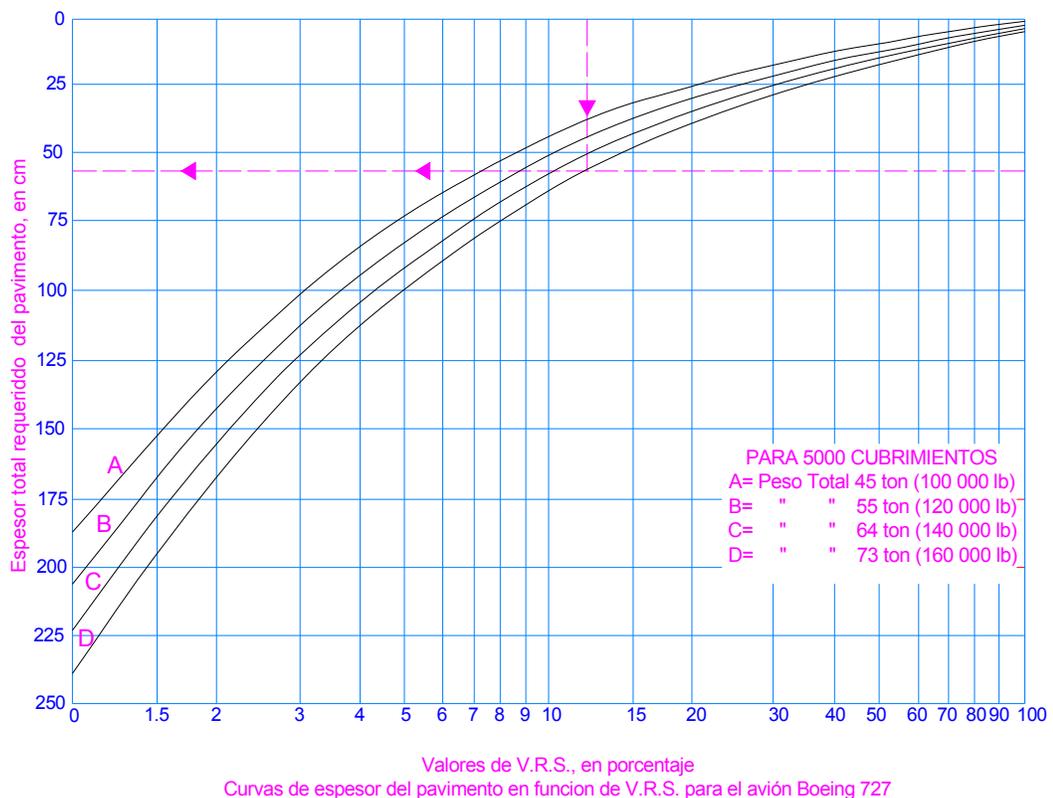
$$\text{Log } R_1 = 1.75977$$

Obteniendo el antilogaritmo se tiene que:

$R_1 56.75 \approx 57$  Salidas equivalentes de la nave de diseño

Con un C.B.R. de 13% y empleando el nomograma de la nave de proyecto.

Se entra con el valor relativo de soporte de la sub rasante (13%) en el eje de las abscisas y donde corte con la curva del peso de la nave (75 toneladas), se traza una paralela al eje de las equis y en el eje de las ordenadas se encuentra el grosor del pavimento.



En el nomograma se observa del lado izquierdo, eje de las ordenadas el espesor del pavimento (58 centímetros) el cual se reparte ente la base y la sub base, manejando un valor específico para la carpeta que en este caso es de 10 centímetros de espesor. Se elige la línea D por ser la más cercana al peso bruto de la aeronave no crítica y entrando con el V.R.S de la subrasante, se obtiene el espesor total del pavimento.





## PAVIMENTOS RÍGIDOS

Se pueden clasificar en forma general en cuatro tipos.

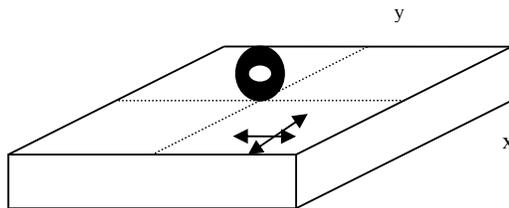
1. ***Pavimentos de concreto simple con juntas (JPCP).***  
Son los más comunes, el espaciamiento entre las juntas de la losa se recomienda que tenga una distancia de entre 4.6 a 9.1 metros, ya que cuando el espaciamiento aumenta se corre el riesgo de tener fisuras no controladas.
2. ***Pavimentos de concreto reforzado con juntas (JRCP).***  
El uso del acero de refuerzo, no incrementa la capacidad estructural de la losa, pero permite incrementar el espaciamiento entre juntas de 9.1 m a 30 m, siendo la separación más adecuada de 12.2m.
3. ***Pavimento con refuerzo continuo (CRCP).***  
Se emplea en pavimentos con tránsito pesado en los que se busca un mantenimiento prácticamente mínimo, ya que con esto se eliminan las juntas y se reduce el espesor de las losas.

#### 4. Pavimento concreto pre-esforzado (PCP).

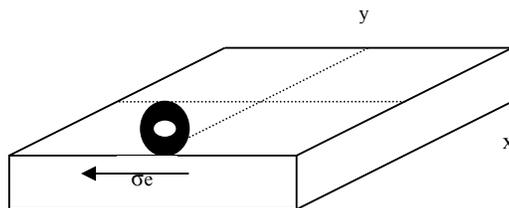
Este tiene menos posibilidades de fracturarse y se requiere menos juntas; la pre-aplicación de un esfuerzo de compresión al concreto, reduce los esfuerzos de tensión causados por la carga de tráfico y disminuyendo el espesor de la losa requerido. El pre-esfuerzo longitudinal puede variar de 200 a 330 libras/pulgada<sup>2</sup>. y se tienen longitudes de losa de 90 a 210m.

Al diseñar un pavimento rígido se debe considerar principalmente el esfuerzo a la flexión, siendo el factor más importante a considerar.

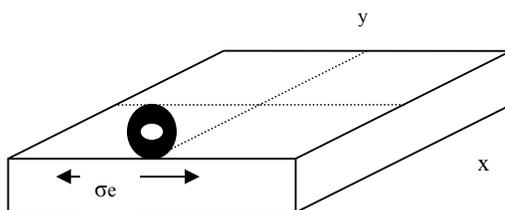
Westergard desarrollo ecuaciones para el caso de alabeo de la losa por temperatura y para tres casos de carga críticos aplicados sobre la losa y que son: carga en esquina, carga interior y carga de borde, la primera y la última resultan de las más críticas y en las que mayor cuidado debe ponerse.



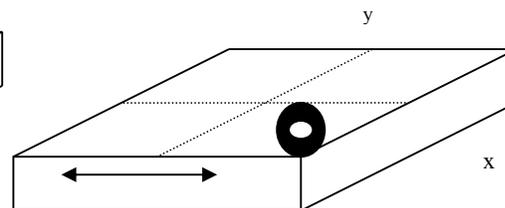
Carga en el interior de la losa



Carga repartida sobre dos losas sin transferencia de carga



Carga situada sobre dos losas sin transferencia de carga



Carga en la esquina de la losa



Los principales factores de diseño, además de los anteriores pueden dividirse en los siguientes:

- a) Tráfico y cargas
- b) Medio ambiente.
- c) Materiales
- d) Criterio de falla.

Existen varios métodos de diseño, pero dos de los más comunes son el de la P.C.A. (Asociación de cemento Pórtland) y el de la AASHTO (asociación Americana de pruebas en caminos y materiales).

El método de la P.C.A. considera dos criterios de falla, el análisis por fatiga (para control de los agrietamientos) influye principalmente para diseño de pavimentos con tráfico ligero (calle residenciales y caminos secundarios) pavimentos con tráfico mediano con pasa juntas.

Análisis por erosión (para controlar la erosión del terreno de soporte en lo que se refiere a bombeo y diferencia de elevaciones de las juntas) tiene influencia en el diseño de pavimentos con tráfico de mediano a pesado, con transferencia de carga por trabazón de agregados (sin pasa juntas) y losas de tráfico pesado con pasa juntas.

Son varios los esfuerzos a los que está sometido un pavimento rígido, pero solo se mencionaran los más comunes y que mayor daño causan.

➤ ***Esfuerzos por acción de las cargas externas***

Regularmente debidos a la expansión del concreto, para disminuirlos se colocan juntas de dilatación.

➤ ***Esfuerzos provocados por torsión de la losa***

Debido a los cambios de temperatura y humedad que existe en la parte superior e inferior de la losa, para esto las losas no deben tener longitudes muy grandes y se deben colocar pasa juntas con una distancia adecuada la cual se calcula.

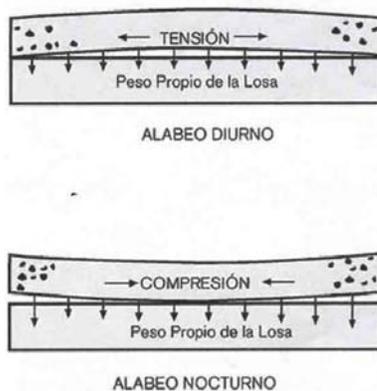
➤ ***Esfuerzos friccionantes.***

Producidos por la variación de temperatura causados por la contracción y expansión de la losa y se presenta entre esta y la capa inferior.

El tráfico y las cargas consideradas en el diseño incluyen las cargas por eje, el número de repeticiones de carga, el área de contacto de las llantas y las velocidades de los vehículos.

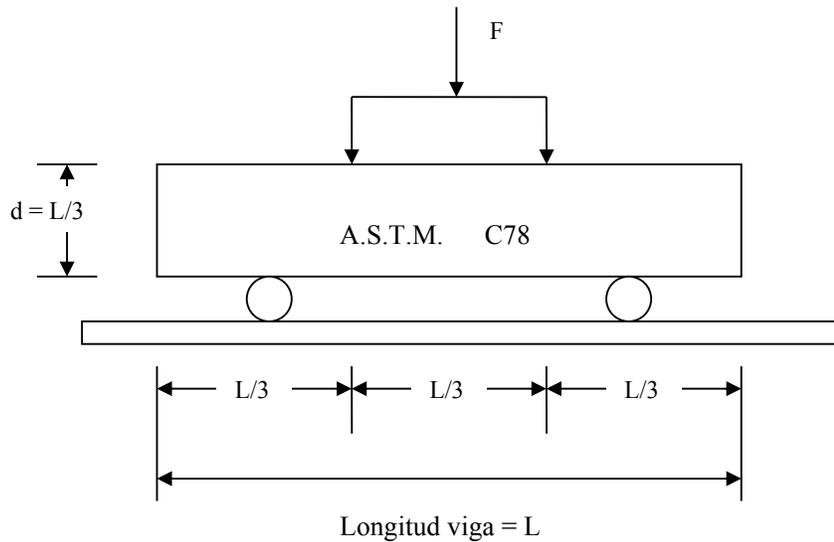
Los factores ambientales que influyen son las temperaturas y el agua, ambos afectan el módulo elástico de los materiales que constituyen el pavimento.

La temperatura induce flexiones a las losas provocando esfuerzos por alabeo y efectos en el contacto losa – sub- capa y en climas fríos el módulo elástico del material varía en el ciclo congelación – deshielo. Durante el día por tener una temperatura mayor la losa se curva hacia abajo y en la noche sucede el caso contrario, afectando el contacto losa – sub. capa, provocando fisuras y aberturas de las juntas, afectando la eficiencia en la transferencia de cargas.



En el caso de los materiales, además del control de calidad que se debe llevar de estos, para fines de diseño se deben realizar una prueba al concreto que se conoce como módulo de ruptura del concreto (M.R.) que se realiza en vigas de concreto de 6x6x30 pulgadas y los resultados a los 28 días son usados para el diseño de autopistas y calles, y a 90 días para aéreo pistas.

Dicho módulo se mide mediante ensaye de vigas de concreto aplicándoles cargas en los tercios medios de sus claros de apoyo. Los valores recomendados para pavimentos varían desde 41 Kg. /cm<sup>2</sup> (563 p.s.i.) hasta 50 Kg. /cm<sup>2</sup> (711 p.s.i.) a 28 días dependiendo el huso que vaya a tener.



Como para la prueba a la flexión, no se cuenta siempre con el equipo adecuado, se puede efectuar una correlación entre este ensaye y la prueba a la compresión simple, efectuada a cilindros de concreto.

Se recomiendan los siguientes módulos de ruptura (M.R.) de acuerdo al tipo de pavimento.

TIPO DE PAVIMENTO	M.R. recomendado	
	Kg./cm <sup>2</sup>	Psi.
Aeropistas	50	711
Autopistas	48	683
Carreteras	48	683
Zonas industriales	45	640
Urbanas principales	45	640
Urbanas secundarias	42	597

$$M.R. = (P \cdot L / b \cdot d^2) \text{kg/cm}^2$$

Dónde:

P = Carga de ruptura

b = Ancho de viga

d = Peralte de viga

L = Distancia entre apoyos



Además de pruebas al concreto empleado, se deberán realizar ensayos en las sub.-capas (subrasante y base) para conocer su resistencia, siendo la más recomendada la prueba de placa para encontrar el módulo de reacción del suelo (**k**).

Dado que dicha prueba toma tiempo y dinero los valores de **K** se pueden estimar mediante una correlación de pruebas más simples, como la de V.R.S. existiendo tablas para correlacionar.

Es de gran importancia la relación largo-ancho de las losas, para evitar agrietamientos o alabeo entre las losas, deberán estar entre los límites 0.71 a 1.4 ya que relaciones mayores originan grietas a la mitad de la losa. En este aspecto se deberá tomar en cuenta el ancho de los vehículos para evitar que estos circulen muy pegados al borde de la losa, cuando menos deben tener una distancia entre el neumático y el borde de 40cm. Para evitar que las cargas deterioren o fracturen las losas.

La modulación de las losas está regida por la separación de las juntas transversales, que a su vez depende del espesor del pavimento.

Existe una regla práctica que nos permite dimensionar los tableros de losas para inducir agrietamientos controlados bajo sus cortes, sin necesidad de colocar acero de refuerzo.

$$S_{jt} = (21 \text{ a } 24) D$$

Dónde:

$S_{jt}$  = separación de juntas transversales < 5m.

D = espesor del pavimento.

Normalmente se utiliza 21 cuando tenemos mayor fricción entre la sub- base y la losa, bases estabilizadas y base granular.

La separación no debe ser mayor de 5.0m o como máximo este valor.

La forma ideal de un tablero de losa es la cuadrada, sin embargo no siempre es posible y conveniente tener losas perfectamente cuadradas, por lo que es necesario procurar un cierto grado de rectangularidad.

Los esfuerzos críticos ocurren cuando el camión se coloca cerca o sobre los bordes del pavimento y a la mitad de las juntas transversales.

Las deformaciones más críticas ocurren en la esquina de la losa.

### **Transferencia de cargas:**

Es la capacidad que tiene una losa de transmitir fuerzas cortantes a sus losas adyacentes, con el objeto de minimizar las deformaciones en la estructura del pavimento, mientras mejor sea la transferencia de cargas mejor será el comportamiento de las losas.

La efectividad de la transferencia de carga entre losas adyacentes, depende de la cantidad del tráfico, utilización de pasa juntas y soporte lateral de las losas.



Una manera de transferir la carga de una losa a otra es mediante la trabazón de los agregados que se genera en la grieta debajo del corte de la junta, sin embargo esta forma de transferir la carga solamente se recomienda para vías de tráfico ligero.

El empleo de pasa juntas de acero es la manera más conveniente de lograr la efectividad en la transferencia de cargas. Se deben utilizar pasa juntas cuando:

- El tráfico pesado sea mayor al 25% del total.
- El número de ejes equivalentes de diseño sea mayor a 5.0 millones.

El confinamiento que produce el soporte lateral contribuye a reducir los esfuerzos máximos que se generan en el concreto por efecto de las cargas.

El tráfico pesado es el que mayor daño produce a los pavimentos por lo que deberá estimarse con la mayor precisión, como ejemplo se puede mencionar que el daño que produce una sola aplicación de carga de un camión semi-remolque de 36 toneladas, equivale al daño que provocan 9523 repeticiones de carga de un automóvil.

El diseño de pasa juntas se basa mucho en la experiencia, el tamaño de los mismos depende del espesor de la losa.

Diámetros y longitudes recomendados en pasa juntas.

ESPESOR DE LA LOSA		BARRAS PASAJUNTAS					
		Diámetro		Longitud		Separación	
Mm.	pl.	Mm.	Pl.	Cm.	Pl.	Cm.	Pl.
13-15	5-6	19	3/4	41	16	30	12
15-20	6-8	25	1	46	18	30	12
20-30	8-12	32	1 1/4	46	18	30	12
30-43	12-17	38	1 1/2	51	20	38	15
43-50	17-20	45	1 3/4	56	22	46	18

Las juntas tienen funciones específicas como controlar el agrietamiento transversal y longitudinal, absorber los esfuerzos provocados por las losas y proveer una adecuada transferencia de cargas.

Los tipos de juntas más comunes son:

- **Juntas transversales de contracción.**
  - Son espaciadas para controlar grietas provocadas por los cambios de temperatura y humedad.
- **Juntas transversales de construcción.**
  - Se colocan al final de la jornada de trabajo o cuando este se suspende por alguna causa.



- ***Juntas transversales de expansión (aislamiento).***
  - Se colocan para aislar estructuras de otro tipo adyacentes al pavimento como edificios.
- ***Junta longitudinal de contracción y construcción.***
  - Semejante al caso arriba mencionado.

Las barras de los pasa juntas serán de acero redondo liso. Deberán quedar ahogadas en las losas, alineadas en sentido longitudinal del pavimento, colocadas a la mitad del espesor de las losas, el acero será de grado 60,  $F_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$  y deberán ser cubiertas con grasa o parafina, para que tengan cierta libertad de movimiento y se desplacen independientemente a las losas.



---

## MÉTODO DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

---

### **Método de la P.C.A. análisis por fatiga**

Este sistema es empleado como ya se dijo para el control de los agrietamientos, para diseñar pavimentos con tráfico ligero como calles residenciales y caminos secundarios o pavimentos con tráfico mediano empleando pasa juntas.

Se requiere tener los nomogramas adecuados y una serie de datos que se obtienen con anterioridad a la realización del diseño. El método consiste en proponer un cierto espesor de losa y un módulo de ruptura del concreto que dependerán del tipo de obra que se vaya a construir.

Se explicara y se aplicara un ejemplo numérico para una mejor comprensión.

Se va a diseñar una losa de concreto hidráulico para una carretera con volumen moderado de vehículos pesados, se efectuó una prueba de placa sobre la subrasante, la cual nos dio un resultado de 2.5lb./pie<sup>3</sup> (pci). Sobre esta capa se construyó una capa de sub. Base a la que también se le efectuó una prueba de placa y el resultado obtenido fue de 4.5lb./pie<sup>3</sup> (a esto se le conoce como **K** combinado). El factor de seguridad por carga (FSC) se obtiene de la tabla correspondiente basándose en el tipo de carretera que se vaya a diseñar, para este caso fue de 1.1.

Se realiza la propuesta de un espesor de losa, para que por medio de tanteos se encuentre la más adecuada para este tipo de camino: En este ejercicio será de 22cm.

En la columna uno se anota el peso de los vehículos por eje sencillo y eje tándem, que se supone circularan con más frecuencia por este pavimento, basados en obras semejantes o bien en aforos de tránsito.

La columna dos se obtiene de multiplicar la columna uno por el factor de seguridad por carga (FSC).

Los esfuerzos de la columna tres los obtenemos del monograma correspondiente, contando con uno para ejes sencillos y otro para ejes en tándem, para usarlos se entra en las abscisas con las cargas encontradas en la columna dos, se lleva una paralela inclinada hasta tocar el módulo de reacción, que puede ser el de la subrasante si solo se tiene esta capa o bien el de la sub. base, si se cuenta con ambas (K combinado). Desde ahí se lleva una vertical hasta interceptar la curva correspondiente al espesor de losa que se propuso, desde este punto se traza una horizontal hacia el eje de las ordenadas, donde encontraremos los esfuerzos correspondientes.

La columna cuatro se obtiene de dividir el esfuerzo entre el módulo de ruptura del concreto (MR) la cual se obtuvo de una prueba a la flexión del concreto (cuando no se tienen valores de esta prueba se puede efectuar la equivalencia con pruebas de resistencia a la compresión del concreto) este valor se anota en decimales, redondeados a la centésima.



Las repeticiones permisibles se tomarán de la tabla correspondiente en la cual se tiene, relación de esfuerzos y su número de repeticiones permisibles, si el valor es igual o menor a 0.50 se considera un número de repeticiones infinitas, esto nos indica que este tipo de vehículos puede circular infinitas veces sin provocarle daño a la losa de concreto.

La columna seis es un dato que se debe tener, pensando en el periodo de vida útil del proyecto y del tipo de vehículos que circularán por este camino, para este ejercicio se propondrán ciertos valores que son los más comunes.

La resistencia a la fatiga consumida se logra de dividir el número de repeticiones esperadas entre las repeticiones permisibles y el resultado se multiplica por cien.

Se suman los valores de esta columna y esta será la resistencia a la fatiga del concreto consumida por estos vehículos en un periodo de tiempo dado (vida útil).

Con esta sumatoria se pueden tener tres casos:

- ▶ Cuando el resultado es igual a 100 con una tolerancia de  $\pm 20\%$  se considera que el diseño es el adecuado.
- ▶ Cuando la suma es menor de 80% se discurre que se tiene un proyecto **sobre diseñado**.
- ▶ Si la sumatoria es mayor de 120% se considera que se tiene un proyecto **sub. diseñado**.

En estos dos últimos casos se deberán realizar otras propuestas, como aumentar o reducir el espesor de la losa según se requiera, o bien aumentar o disminuir el módulo de ruptura del concreto.

Ya que en un caso extremo con el fin de tener un diseño económico y estructuralmente aceptable se puede proponer otro tipo de sub- base, más económica o definitivamente descartarla, aunque esto nos pueda provocar la falla por bombeo.



**TABLA PARA APLICAR EL FACTOR DE SEGURIDAD POR CARGA  
(F.S.C.)**

TIPO DE OBRA	F.S.C.	ESPESOR (cm.)
Carreteras de primer orden, autopistas y otras vías con flujo interrumpido de tránsito y gran volumen de vehículos pesados	1.2	30 - 40
Carreteras y avenidas con volúmenes moderados de vehículos pesados	1.1	25 - 35
Carreteras y calles residenciales y otras con volúmenes pequeños de vehículos	1.0	20 - 30

**TABLA PARA OBTENER EL NÚMERO DE REPETICIONES ADMISIBLES**

Relación de esfuerzos Esf/MR	Núm. de repeticiones admisibles	Relación de esfuerzos Esf/MR	Núm. de repeticiones admisibles
0.50	Infinitas	0.68	3,500
0.51	400,000	0.69	2,500
0.52	300,000	0.70	2,000
0.53	240,000	0.71	1,500
0.54	180,000	0.72	1,100
0.55	130,000	0.73	850
0.56	100,000	0.74	650
0.57	75,000	0.75	490
0.58	57,000	0.76	360
0.59	42,000	0.77	270
0.60	32,000	0.78	210
0.61	24,000	0.79	160
0.62	18,000	0.80	120
0.63	14,000	0.81	90
0.64	11,000	0.82	70
0.65	8,000	0.83	50
0.66	6,000	0.84	40
0.67	4,500	0.85	30



**Diseño de pavimentos rígidos método de la PCA**

k de la subrasante: 2,8Kg/cm<sup>3</sup> (pci), sub- base 10 cm de material granular sin tratar  
k combinado: 3,6 Kg/cm<sup>3</sup> (pci), Factor de seguridad por carga (fsc) 1,2 .  
Espesor de la losa propuesto: 22,0cm Modulo de ruptura propuesto 45.0Kg/cm<sup>2</sup>

1	2	3	4	5	6	7
Cargas por eje (Kips) Ton	Cargas por eje X FSC (Kips) Ton	Esfuerzos (PCI)	Relación de esfuerzos	Repeticiones permisibles No.	Repeticiones esperadas No	Resistencia a la fatiga consumida%

Ejes sencillos

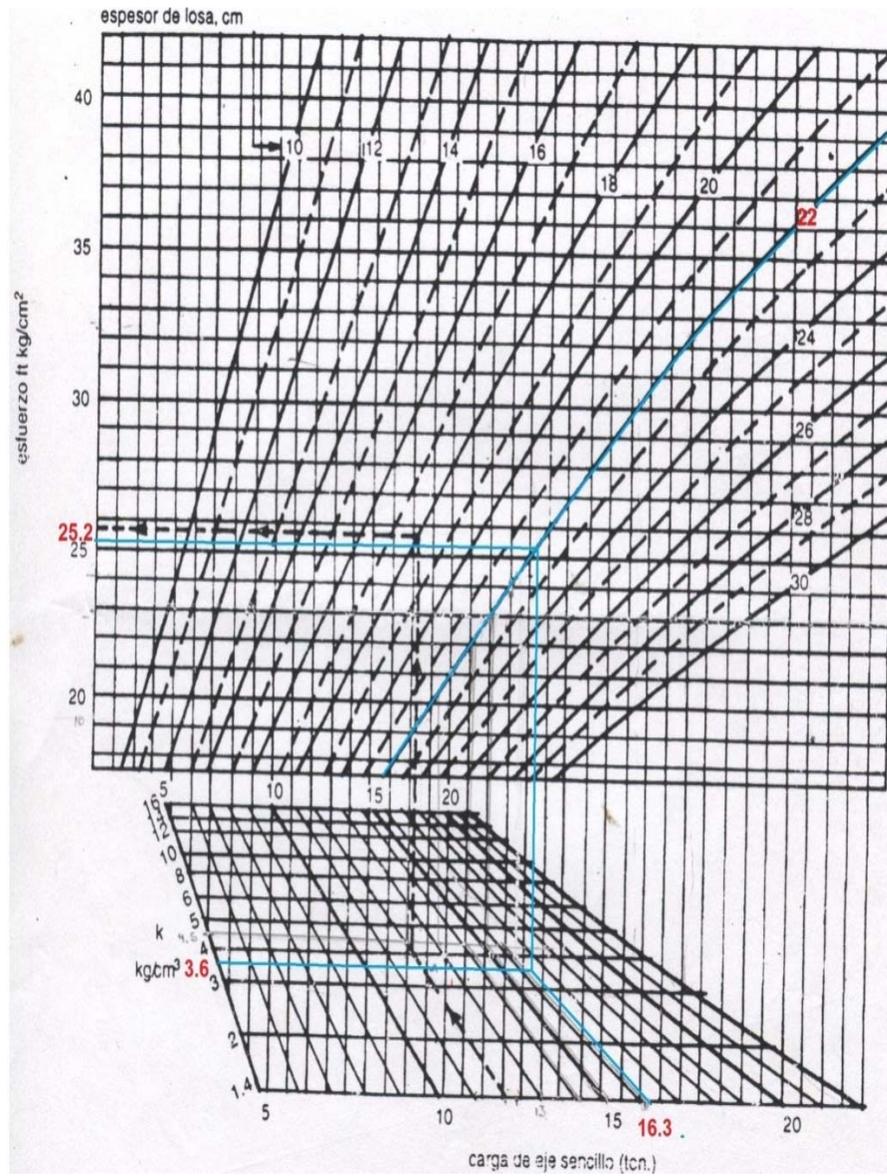
13,6	16,3	25,2	0,56	100.000,00	3700	3,700
12,7	15,2	24	0,53	240.000,00	3700	1,542
11,8	14,1	23	0,51	400.000,00	7410	1,853
10,9	13,1	22,2	0,49	Infinito	195000	0
10	12	19,8	0,44	Infinito	764000	0

Ejes en tándem

24,5	29,4	27,6	0,61	24.000,00	3700	15,42
23,6	28,3	27,2	0,60	32.000,00	3700	11,56
22,7	27,2	26,3	0,58	57.000,00	36270	63,63
21,8	26,1	25,2	0,56	100.000,00	57530	57,53
20,9	25	24,7	0,55	130.000,00	179790	138,30
19,9	23,9	23,8	0,53	240.000,00	179790	74,91
19	22,9	23,2	0,52	300.000,00	179790	59,93
18,3	21,8	21,2				
					Σ	428,377

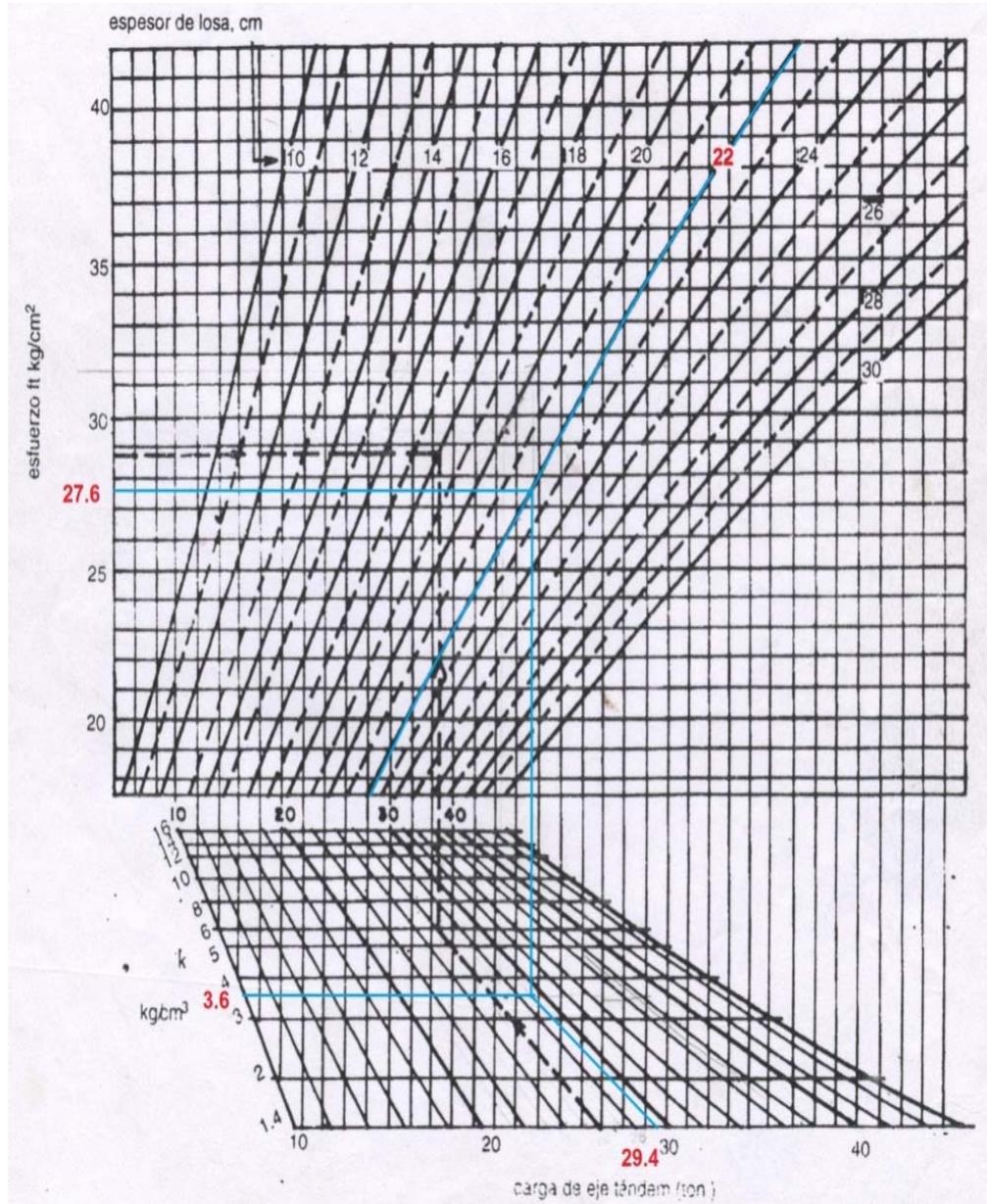


**Ejemplo eje sencillo**





**Ejemplo ejes tándem.**





#### MÉTODO DE DISEÑO DE LA AASHTO.

---

Para este sistema se requiere de un nomograma, propuesto por este organismo, además de ciertos datos que se mencionó anteriormente de donde se obtienen y por qué se emplean.

El proceso a seguir se indica a continuación:

Se ingresa en la gráfica con el valor de **K** (obtenido de la prueba de placa en la subrasante).

Desde este punto trazar una recta hasta cortar la curva del módulo de elasticidad del concreto

Donde esta línea corte dibujar una recta paralela al eje de las equis y unirla con el eje de módulo de ruptura del concreto y prolongar esta trazo hasta el eje pivote (TL).

Dependiendo del tipo de obra que se vaya a construir, en cuanto a características del concreto y el tipo de acotamiento se elige el coeficiente de transferencia de carga (J) y del eje pivote se marca una línea hasta cortar el valor propuesto y se prolonga al otro eje de referencia (TL).

Basados en el tipo de materiales que se tengan en la zona y a la precipitación pluvial que se presenta en ella se elige el coeficiente de drenaje (**cd**). Unimos con una recta el punto encontrado en el eje de referencia y el dato de coeficiente de drenaje, lo prologamos hasta la línea de empalme.

Se sugiere un índice de serviciabilidad, el cual es la calificación que se le otorga al pavimento al final de su vida útil de proyecto. De la línea de empalme se traza una raya para unirlo con el índice de serviciabilidad propuesto y se prolonga hasta el cuadro de espesor de diseño de losa.

Se ubica el valor de confiabilidad (R) si el camino es urbano o rural, de ahí se marca una línea hacia la desviación estándar propuesta ( $S_o$ ) la cual depende del nivel de confianza sugerido (se considera un rango de 0.3 a 0.4 se recomienda un valor de 0.45 en pavimentos flexibles, para tomar en cuenta el error relativo a la predicción del tránsito) dicha línea se prolonga hasta un eje de apoyo.

De este punto partimos para unir este valor con el número de ejes acumulados de 8.2 toneladas que se supone circularan por el camino durante su vida útil.

De aquí se prolonga hasta encontrar la línea que se marcó en el cuadro de espesor de diseño de losa y en la unión de ambos se encuentra el espesor de losa requerido.



### COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CARGA (J)

Tipo de acotamiento	Asfalto		Concreto	
	Si	No	Si	No
Dispositivo para transferencia De carga.				
JPCP y JRCP	3.2	3.8-4.4	2.5-3.1	3.6-4.2
CRCP	2.9-3.2	N/A	2.3-2.9	N/A

### COEFICIENTE DE DRENAJE (Cd)

Calidad del drenaje                      % de tiempo en que la estructura del pav. está expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación.

Clasificación	agua removida en			≤ que		≥ que	
	1%	1 – 5 %	5 – 25%	25%			
Excelente	2 horas			1.25-1.2	1.2-1.15	1.15-1.10	1.10
Bueno	1 día			1.20-1.15	1.15-1.1	1.10-1.00	1.00
Regular	1 semana			1.15-1.10	1.10-1.0	1.00-0.90	0.90
Pobre	1 mes			1.10-1.00	1.00-0.9	0.90-0.80	0.80
Muy pobre	no drenaje			1.00-0.90	0.90-0.80	0.80-0.70	0.70

El promedio de tiempo depende de la precipitación pluvial anual y de la permanencia de las condiciones de drenaje.

### CONFIABILIDAD (R)

Se refiere a la incorporación de algunos grados de seguridad dentro del proceso de diseño, debiéndose incrementar con el aumento en el volumen de tráfico.

Niveles sugeridos de confiabilidad para varias clasificaciones.

CLASIFICACIÓN FUNCIONAL	URBANO %	RURAL %
AUTOPISTAS	85 – 99.9	80 – 99.9
ARTERIAS PRINCIPALES	80 – 99	75 – 95
COLECTORES	80 – 95	75 – 95
LOCAL	50 – 80	50 – 80

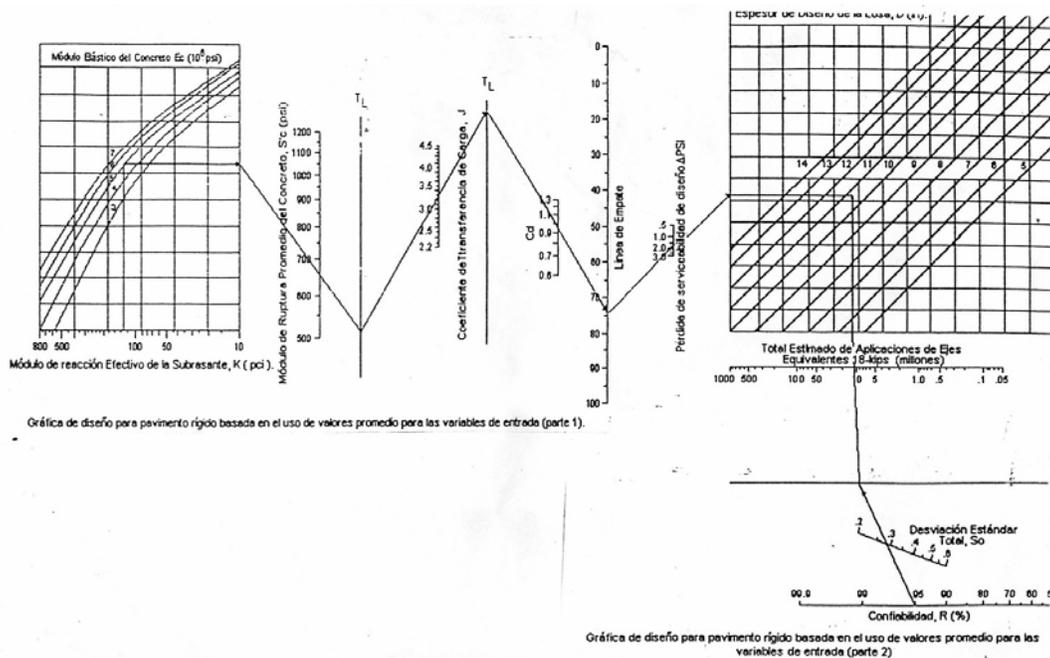


El índice de serviciabilidad ( $\Delta PSI$ ) es la calificación que se le aplica al pavimento nuevo y la evaluación que tendrá cuando ya requiera de una rehabilitación.

Ejemplo:

Módulo de reacción de la subrasante (K)	130 pci.
Módulo de elasticidad del concreto ( $E_c$ )	$5 \times 10^6$ psi.
Módulo de ruptura del concreto ( $M_r$ )	650 psi.
Coefficiente de transferencia de carga (J)	3.2
Coefficiente de drenaje (Cd)	1.0
Perdida de serviciabilidad ( $\Delta PSI$ )	1.7
Confianza (R)	95%
Desviación estándar	0.3
Número de ejes acumulados de 8.2 ton. ( $\Sigma L$ )	$11.3 \times 10^6$

Realizando el proceso indicado en la parte superior de unir todos estos valores se obtiene el espesor de la losa de concreto hidráulico que como se observa en el nomograma es de 10.6 pulgadas (27 centímetros)



Nomograma para obtener el espesor de losas de concreto por el método de la AASHTO

### CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES Y EL PRODUCTO

Los materiales pétreos se sujetaran a los tratamientos necesarios para cumplir con los requisitos de calidad que se indican en cada caso.

El agregado grueso será grava triturada totalmente con un tamaño máximo de 38mm., con una resistencia superior a la resistencia del concreto.

Denominación de la malla	% que pasa
2" (50,8mm)	100
1 ½ (38,0mm)	95 - 100
¾ (19,0mm)	35 - 70
3/8 (9,52mm)	10 - 30
Núm. 4 (4,52mm)	0 - 5



Equipo de tamizado (Ro- Tap)

El contenido de las sustancias perjudiciales del agregado grueso deberán tener los siguientes porcentajes máximos.

Substancias perjudiciales	% máximo
Partículas deleznales	0,025
Partículas suaves	5,0
Pedernal como impureza	1,0
Carbón mineral y/o lignito	1,0
Desgaste de los Ángeles	40,0 % máximo
Intemperismo acelerado	12,0 % máximo



El agregado fino o **arena** deberá tener un tamaño máximo de 9.51 mm con la siguiente secuencia que se indica.

ARENA	
Denominación	% que pasa la malla
3/8	100
Núm. 4	95 - 100
Núm. 8	80 - 100
Núm. 16	50 - 85
Núm. 30	25 - 60
Núm. 60	10 - 30
Núm. 100	2 - 10
Núm. 200	4 máximo

La arena no deberá tener un retenido mayor de 45% entre dos mallas y deben cumplir con los siguientes requisitos de calidad.

Equivalente de arena	80 mínimo
Modo de finura	2,3 min. 2,3 máx.
Intemperismo acelerado	10,0% máx.

El contenido de sustancias perjudiciales no deberá exceder de lo siguiente.

Substancias perjudiciales	% máximo
Partículas deleznable	1,0
Carbón mineral o lignito	1,0

Se empleara **cemento** Pórtland tipo I o II o bien cemento puzolanico del tipo IP.

El **agua** deberá ser potable y por tanto libre de materiales perjudiciales tales como aceites, grasas, materia orgánica, etc.

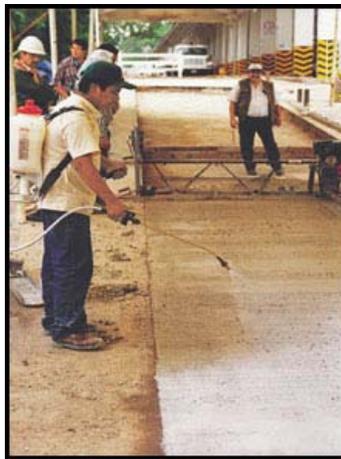
Los **aditivos** podrán ser para reducir agua y retardante con la dosificación requerida, para mezclarse a 23° C. y el fraguado no se produzca antes de dos horas ni después de cuatro a partir de la finalización del mezclado.

La **mezcla** deberá tener el **módulo de resistencia** que marque el proyecto como mínimo a los 28 días y un revenimiento promedio de cuatro (4.0) cm. al momento de su colocación pero nunca deberá ser menor de dos punto cinco (2.5), ni mayor de seis (6) cm.

La resistencia a la tensión por flexión se verificara en especímenes moldeados durante el colocado del concreto, correspondiente a vigas estándar de quince por quince por cincuenta (15x15x50) centímetros, compactado el concreto por vibro compresión y una vez curados de manera adecuada, se ensayaran aplicando las cargas en los tercios medios del claro.

Para **la membrana de curado** deberá emplearse un líquido de color claro, con una base de agua y parafina de pigmentación blanca.

Las barras de amarre son corrugadas de acero estructural con un límite de fluencia ( $f_y$ ) de 4200 Kg. /cm<sup>2</sup>, debiendo quedar ahogadas en la losa.



*Curado de una losa de concreto*

El **material sellante para las juntas** de contracción y construcción debe ser elástico y resistente a los efectos de combustibles y aceites automotrices, con propiedades adherentes al concreto y que permita dilataciones y contracciones, sin agrietarse a base de silicón, que se solidificaran a la temperatura ambiente.



*Equipo para colocar el sello*

Las **tiras de neopreno** para las juntas de losas deben ser de una sola pieza con una dimensión de 10cm. de ancho y 5cm. de espesor.

**El control y proporcionamiento** de todos los materiales se realizara por peso.  
El manejo de los agregados deberá garantizar que no se produzcan segregaciones o contaminación con materiales ajenos al concreto y/o sustancias perjudiciales.

**El transporte** de los agregados y/o la mezcla se efectuara en camiones sean mezcladores o no, pero previendo cualquier pérdida de humedad o material, debiendo lavarlos con agua a presión para evitar residuos.

Cuando se utilicen camiones no mezcladores, deberán contar con caja revestida de lámina.



### VACIADO DE CONCRETO DE LA PLANTA A CAMIÓN DE VOLTEO

En el **colado**, la construcción de losas de un mismo cuerpo deberá efectuarse simultáneamente en todo el ancho de corona previsto.

La superficie de la sub-base estabilizada con cemento deberá estar limpia y ligeramente humedecida y exenta de substancias ajenas al concreto, terminada en los niveles y tolerancia que marque el proyecto.



*Losas de concreto sistema tradicional*

La colocación y compactación del concreto se efectuara en los 30min siguientes a su elaboración.

Para evitar segregación se colocara con extendedoras autopropulsadas, el cual debe contar con sensores de nivel y la orilla de la losa debe formar un ángulo de 90 grados con respecto a la superficie, algunos equipos deberán tener la capacidad de insertar las barras de amarre para las juntas longitudinales.



*Tendido de concreto con equipo de orugas*



*Colocación y vibrado del concreto*

Su compactación se efectuara desde la superficie con vibradores de inmersión y de regla en ese orden.

Como para las pruebas a la flexión no se cuenta siempre con el equipo adecuado, se puede efectuar una correlación entre este ensaye y la prueba de compresión simple efectuada a cilindros de concreto.

## PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO

La tecnología de construcción se puede clasificar de la siguiente manera:

- Pavimentación con cimbra deslizante
- Pavimentación con cimbra fija.
- Ambas se pueden utilizar de manera indistinta, pero es común que para autopistas, carreteras y avenidas urbanas importantes se utilice la cimbra deslizante y en pavimentos urbanos la cimbra fija.

Para la construcción de un pavimento con cimbra deslizante, se procede a lo siguiente:

- Se deberán tener **las capas inferiores a la losa, compactadas al grado que marque el proyecto, estas suelen ser la subrasante y la sub. base**, esta última después de compactada se le deberá barrer y después colocarle un riego de impregnación con emulsión asfáltica catiónicas de rompimiento lento o superestable a razón de 1.0 l/m<sup>2</sup>.



*Control de la compactación de la base*

- Se ubica el sitio donde se colocara la **planta de mezclado central** (estas plantas elaboran el concreto con alto rendimiento de producción, el cual normalmente es transportado en camiones de volteo o tipo “flow boy”), dichas plantas son móviles y deberán colocarse en un lugar cercano a la obra y donde cuenten con la cantidad suficiente de agregados y de agua, para que no pare la producción. Se pueden tener plantas dosificadores de concreto, cuando se requiere de volúmenes menores, en este caso se tiene un control adecuado de las cantidades de materiales que se van a utilizar para la mezcla, pero dichas plantas no realizan el mezclado de concreto, apoyan a los camiones revolventes que son los que mezclan el material convirtiéndolo en concreto, se pide que las distancias de recorrido no sean mayores a una hora para evitar el tener que adicionarle retardantes a la mezcla y se debe procurar el circular por caminos poco accidentados para evitar la segregación de los agregados de la mezcla.



- **Tendido de la línea guía:** apoyados en el cadenamamiento y cotas de la obra, se procede a colocar pines, para el tendido de la línea guía en la cual se apoyaran los sensores de la máquina para darle un espesor adecuado a la losa y el texturizado resulte conveniente, se clavarán varillas a una distancia de 150 cm. del borde de la losa y de 8 a 10 metros de separación en tangentes planas teniendo en curvas un alejamiento máximo de 5.0 m. el hilo será un cordel de nylon lo suficientemente tenso para evitar se cuelgue y se tengan deformaciones en el tendido, se marca la línea guía para ubicar los sitios donde se colocaran los pasajuntas.



*Tendido y nivelación de la línea guía*

- **Se colocan los pasajuntas** los cuales se sujetaran a una canastilla de alambre, la cual estará retenida a la base para evitar que se muevan cuando vacíen el concreto, la canastilla tendrá la altura suficiente para que las barras queden a la mitad de la losa (algunos equipos extendedores cuentan con herramientas que insertan automáticamente los pasajuntas y dando mejores resultados). las barras pasajuntas deberán cubrirse con grasa o aceite para evitar que se adhieran al concreto.



*Colocación de la línea guía y de los pasajuntas.*

- **Se rocía la base con agua** antes de tender el concreto para evitar que la primera absorba el agua de la mezcla y con esto fragüe antes de tiempo lo cual nos puede provocar grietas prematuras.
- **Se debe limpiar y calibrar** perfectamente el equipo para que funcione de manera correcta.
- **Se coloca el concreto delante de la extendedora**, la cual por medio de un tornillo sinfín lo extiende y reparte del centro a la orilla de la losa, dándole el espesor adecuado, para después aplicarle un vibrado el cual debe ser de manera adecuada ya que si es muy intenso provoca que los gruesos se asienten y esto puede provocar una falla en la superficie por falta de resistencia y si el vibrado es poco intenso provoca un mal acabado.



*Vaciado del concreto frente a la extendedora*

- **Se le da un acabado superficial** con una llana metálica, para provocarle un sangrado al concreto y evitar queden burbujas de aire en la superficie e impedir queden.



*Acabado superficial con llana*

- **Se le aplica un texturizado longitudinal** con un costal de yute, pasto sintético o cuero los cuales deben estar húmedos, esto servirá para que el frenado de los vehículos sea el adecuado.



*Texturizado longitudinal*

- **El macro texturizado transversal** se aplica con un peine metálico, esto permite la rápida evacuación del agua de la superficie del pavimento. Dicho peine tendrá una separación entre dientes de 20 mm., con un ancho de dientes de 3.0 mm. y la profundidad de penetración del cepillo de 3 a 6 mm. se debe tener cuidado para evitar que el agregado grueso se levante o se mueva y se marque en exceso.



### *Texturizado transversal*

- **Se aplica un curado** al concreto a razón de un litro por metro cuadrado para obtener un espesor uniforme de aproximadamente 1.0 mm. que deje una membrana impermeable y consistente de color claro, que impida la rápida evaporación del agua durante el tiempo de endurecimiento del concreto deberá protegerse la superficie del concreto contra acciones accidentales de origen climático, de herramientas o de seres vivos.



### *Curado de la losa*

- **Corte de la losa**, se efectúa en los sitios predeterminados que es donde van colocados los pasa juntas, dicho corte tendrá un ancho de 3.0 mm. y una profundidad de un tercio el espesor de la losa, con esto se logra inducir una grieta longitudinal hacia el fondo de la losa y se tiene un agrietamiento controlado, por lo regular el corte se hace de 4 a 6 horas de colocado el concreto y deberá terminarse antes de 12 horas después de colado. Deberán realizarse primero los cortes transversales y posteriormente longitudinales.



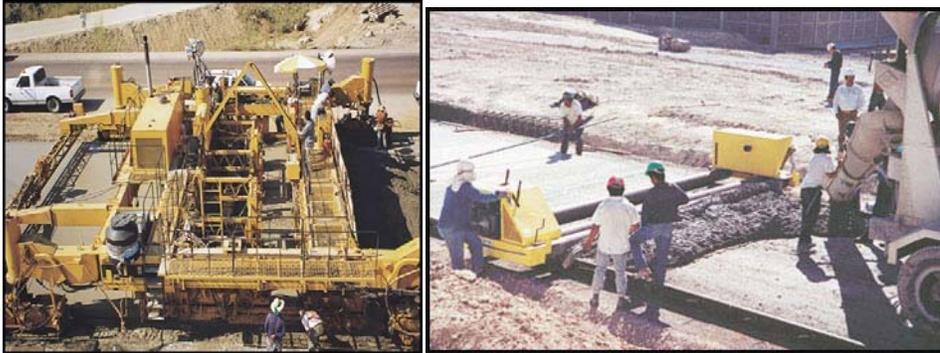
*Corte y ensanchamiento de las juntas*

- **Ensanche de las juntas** dicho corte se realiza con un disco de 6.0 mm y se efectúa en húmedo, esto se hace con el fin de colocar una cama para el material de sello.
- **Limpieza y sello de las juntas** la limpieza se realiza con el fin de que dentro de las juntas queden elementos ajenos a ella y permitir una adecuada adherencia entre el sellador y el concreto. Se coloca una tira de neopreno como cama y sobre de él un material sellador que puede ser silicón o una emulsión dicho sello se hace con el fin de evitar que penetre el agua.



*Acabado final de la losa*

- ❖ Se recomienda que el revenimiento del concreto con cimbra fija debe ser el siguiente:  
En superficies planas con pendientes ligeras  $10 \pm 2$  cm. y en superficies con pendientes mayores de 8.0 % será de  $8 \pm 1$  cm.



*Tendido del concreto con cimbra deslizante y regla vibratoria*



*Colocación de pasa juntas*



## DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS DE AEROPISTAS

Para obtener el espesor de losas de concreto del pavimento rígido en aeropuertos, existen diferentes métodos, dentro de estos, encontramos el método de la P.C.A. (Asociación de Cemento Pórtland) y el de la FAA. (Agencia Federal de Aviación).

En el diseño estructural de un pavimento rígido en un aeropuerto intervienen los siguientes factores.

- a).- las propiedades del concreto (módulo de ruptura).
- b).- la capacidad de carga de la subrasante o de la combinación de la subrasante y la subbase (se obtiene generalmente de la prueba de placa).
- C.-tipos de aviones y cargas que pueden considerarse para el pavimento y su frecuencia aproximada de operación.

El tipo de pavimento que se proyecta, como pueden ser la pista .calles de rodaje, plataformas, pisos para hangares.

### Procedimiento de diseño de la P.C.A.

- Determinar el valor de K (módulo de reacción de la subrasante) por medio de pruebas de placa o bien correlacionándolo los datos obtenidos de otras pruebas efectuadas en la sub rasante
- Se efectúa una estimación adecuada de las condiciones de operación y de cargas presentes y futuras, eligiendo un coeficiente de seguridad conservador.
- Se recomiendan los siguientes valores para emplear el coeficiente de seguridad.

INSTALACIÓN	FACTOR DE SEGURIDAD
ZONAS CRITICAS: como plataformas, calles de rodaje, estacionamientos, extremos de las pistas, pisos de hangares.	1.7 - 2.0
ZONAS NO CRITICAS: aéreo pista en su porción central, algunas calles de rodaje de salida de alta velocidad.	1.4 -1.7

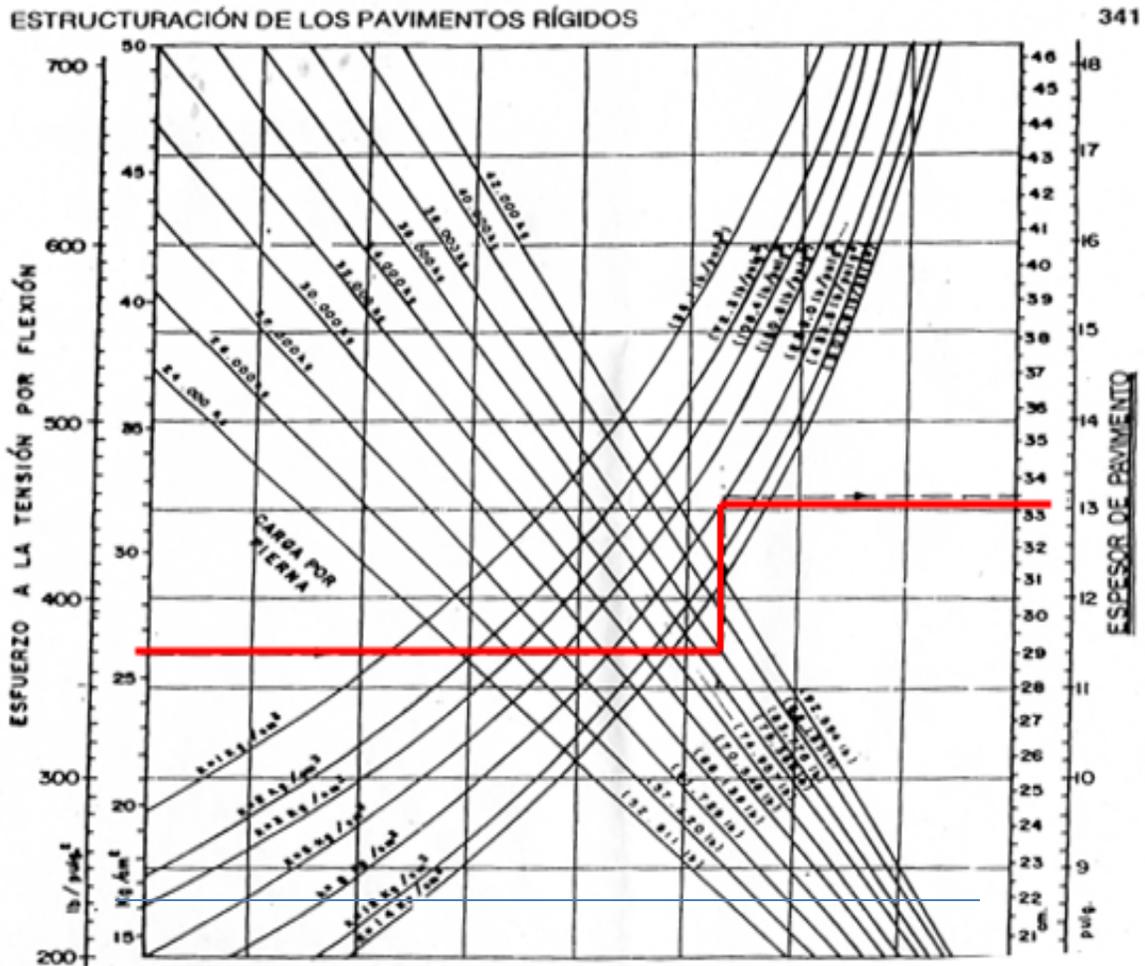
En la porción central de la pista se permiten coeficientes de seguridad menores por que la mayor parte del tráfico consiste en cargas que se mueven a gran velocidad, que son parcialmente sostenidas por el aire.



**Procedimiento para ingresar al nomograma:**

Los esfuerzos de trabajo para un cierto avión se determinan dividiendo el módulo de ruptura del concreto por el coeficiente de seguridad elegido.

Ubicado dicho esfuerzo (**25,2 Kg. /cm<sup>2</sup>**) se traza una línea hasta cortar la carga por pierna del tren principal de aterrizaje diseño (**85 000 Kg.**), de ahí se traza una vertical hasta cortar la curva correspondiente al módulo de reacción de la sub rasante (**8.0 Kg. /cm<sup>3</sup>**) y en donde se cruce se traza una línea hacia el eje de las ordenadas del lado derecho, donde se encuentra los espesores en centímetros y en pulgadas, para este ejemplo el espesor de la losa fue de **33.0 centímetros**.





---

BIBLIOGRAFÍA

---

- Normas de la S.C.T.
- Mecánica de suelos tomo II- Rodríguez Juárez Badillo y Rico
- Ingeniería. de suelos aplicada a Vías Terrestres- Rodríguez H. del castillo y Rico
- Estructuración de las Vías Terrestres - Bustamante. Fernando Olivera
- Ingeniería de Carreteras - Wright.
- Publicaciones del Inst. de Ing. De la UNAM.
- Publicaciones del Instituto Mexicano del Transporte
- Principios Para Diseño de Pavimentos- O. J. Yoder
- CEMEX Pavimentos de Concreto Hidráulico
- Publicaciones de la Asociación Mexicana del Asfalto
- Publicaciones del IMCYC(Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto)
- Organización de Aviación Civil Internacional (OACI)
- Manual de la FAA.(Agencia Federal de Aviación)
- apuntes de la materia de Pavimentos y Terracerías- José Santos Arriaga Soto.
- Apuntes de Vías III - José Luís Minaburo Castillo
- Publicaciones de la Asociación Mexicana de Ingeniería. de Vías Terrestres.



---

CUESTIONARIO DE PAVIMENTOS Y TERRACERIAS.

---

- 1.- Definir pavimento y terracería.
- 2.- ¿A qué se llama pavimento flexible y rígido?
- 3.- Por medio de figuras dibujar las secciones de un pavimento flexible, las de un pavimento rígido en carreteras y aéreo pistas.
- 4.-Explicar qué función desempeñan las terracerías y las diferentes capas del pavimento flexible y rígido.
- 5.-Explicar el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS.
- 6.-Explicar el sistema de clasificación de materiales propuesto por la S.C.T.
- 7.- ¿Con que tipo de materiales se construyen las terracerías y mencionar sus características de cada una?
- 8.- ¿Cuáles son los tipos de estudios geotécnicos que se efectúan en la etapa preliminar de un camino?
- 9.- ¿Qué pruebas de campo se realizan para la identificación de suelos y rocas en el campo?
- 10.- ¿En qué consisten los estudios definitivos para realizar el proyecto y construcción de un camino?
- 11.- Mencione los estudios de campo y laboratorio que se efectúan para determinar la estabilidad en cortes, terraplenes, puentes y alcantarillas.
- 12.- ¿Qué métodos se tienen para efectuar la exploración de suelos y de rocas?
- 13.- ¿Cuál es la separación y profundidad recomendados de los sondeos geotécnicos, que se efectúan en una obra.
- 14.- ¿Cómo se efectúa la localización de bancos de préstamo y que métodos emplean para conocer el volumen de material que se puede extraer?
- 15.- ¿Cuántos tipos de bancos de material se tiene de acuerdo con la S.C.T. y los principales aspectos a considerar para su explotación?
- 16.- ¿Explicar peso volumétrico de campo, peso volumétrico en campo y laboratorio, peso volumétrico suelto, grado de compactación y compacidad relativa, con sus relaciones volumétricas.
- 17.- ¿Qué características de acuerdo con las normas deben tener los materiales empleados en revestimientos, sub bases y bases hidráulicas ¿
- 18.-Explicar la prueba AASHTO (Proctor) y sus variantes?
- 19.- ¿Cuáles son los tratamientos previos que se le deben efectuar a los materiales para un revestimiento, sub base y base.
- 20.- Explique algunos tipos de revestimientos más comunes.
- 21.-explicar el proceso constructivo de las capas de sub base y base en un pavimento.
- 22.- ¿Mencione los métodos más comunes para obtener el grado de compactación que se emplean?
- 23.- ¿Cuáles son las distancias a las que debe efectuarse la nivelación de las capas y los sondeos para el control de la compactación de carreteras y aéreo pistas ¿
- 24.- Explicar la prueba de equivalente de arena y mencionar su objetivo.
- 25.- Definir estabilización de suelos y los métodos más comunes en caminos.
- 26.- ¿En qué casos se recomienda el empleo de cal hidratada, que pruebas se efectúan a los suelos mejorados con ella, explicar el procedimiento constructivo.
- 27.- ¿En qué casos se recomienda emplear cemento Pórtland, que pruebas se les efectúan a las estabilizaciones del tipo rígido, a las de tipo flexible y cuál es su procedimiento constructivo.
- 28.- ¿En qué materiales se recomienda el empleo de productos asfálticos para mejorarlos , cuales son las pruebas que se le realizan.
- 29.- ¿Con que otros productos se efectúa el mejoramiento de las propiedades de los suelos y explicar que función cumple el geotextil cuando se emplea debajo de la subrasante y en las carpetas ¿



- 30.-Explicar y decir cuál es el objetivo de la prueba Porter, expansión y C.B.R.
- 31.- ¿Cómo se efectúa la Porter modificada y la prueba de C.B.R. en campo?
- 32.- ¿De dónde se obtienen los asfaltos, que elementos los componen en y cuáles son los que se recomienda se empleen en México de acuerdo con su regionalización geográfica.
- 33.- ¿Qué es un asfalto modificado, para que se emplea y cuáles son los que se están desarrollando en México?
- 34.- ¿Qué es una emulsión asfáltica, de cuantos tipos se tiene, que es un asfalto rebajado?
- 35.- ¿Cuál es el uso más adecuado de cada uno de los productos asfálticos y a que pruebas se someten los productos asfálticos mencionar su objetivo?
- 36.- ¿Cuáles son las pruebas a las que se someten los materiales pétreos que se pretenden emplear en las carpetas asfálticas, mencionar el objetivo.
- 37.-Mencione algunos métodos para efectuar el diseño de una mezclas asfáltica en frío.
- 38.- ¿Cómo se determina el % óptimo de una mezcla asfáltica en caliente?
- 39.- ¿Cuál es el objetivo de aplicar los diferentes riegos en un pavimento flexible y cuáles son estos.
- 40.- ¿En qué consisten los tratamientos superficiales simples y múltiples (carpetas de riego).
- 41.- ¿Cuál es el procedimiento constructivo para una carpeta de concreto asfáltico, desde que se efectúa el mezclado (mezcla en caliente).
- 42.- ¿Cuál es la finalidad de una carpeta de open grade (textura abierta), que tipos de materiales se emplean y cuál es su procedimiento constructivo.
- 43.- ¿Para qué se colocan las carpetas conocidas como slurry-seal y con qué materiales se construye.
- 44.- ¿De qué está compuesto un mortero asfáltico y donde puede emplearse.
- 45.- ¿Para qué sirve realizar la prueba de permeabilidad y como se realiza.
- 46.-de acuerdo con la AASHTTO y la S.C.T. como califica a los caminos de acuerdo con su transitabilidad.
- 47.-Mencionar algunos de los equipos que se emplean para evaluar las características del pavimento, además de algunas pruebas que se realizan.
- 48.-Indicar los tipos de fallas más comunes en pavimentos flexibles y rígidos, mencionando tres ejemplos de cada uno.
- 49.- ¿En qué casos se recomienda el reencarpetado y en cuales la remoción de carpeta.
- 50.- ¿Qué mantenimiento se le debe efectuar a una vía de comunicación.
- 51.- ¿Cómo se realiza la prueba de placa y que resultados se obtiene de ella.
- 52.- ¿Expresar la teoría de distribución de esfuerzos de Boussinesq y Burmister.
- 53.-Explicar el efecto de la presión de inflado y de la magnitud de carga en un pavimento flexible.
- 54.- ¿Qué es la capacidad de carga, para que se requiere conocer y como se obtiene.
- 55.- ¿Qué factores se requieren para efectuar el diseño de un pavimento.
- 56.-De acuerdo con la S.C.T. mencionar cuales son las cargas máximas de diseño que se aceptan para que circulen en los pavimentos de la república.
- 57.- ¿Qué se entiende por vida útil de diseño, tasa de crecimiento y porcentaje de diseño.
- 58.- ¿Cuáles son los factores de proyecto que se emplean para el diseño de una aérea pista.
- 59.- ¿Cuáles son las diferencias al momento de diseñar una pista y una carretera.
- 60.- ¿Explicar que es la carga equivalente y mencione algunos métodos para obtenerla.
- 61.-Explicar la prueba de módulo de resiliencia y módulo de rigidez.
- 62.- ¿Cuáles son los pavimentos rígidos más comunes.
- 63.- ¿explicar el comportamiento de un pavimento rígido bajo cargas en movimiento (teoría de Westergard).
- 64.-como se efectúa la transferencia de carga en las losas de concreto.
- 65.- ¿Qué características deben tener los materiales que se emplean para una losa de concreto hidráulico.
- 66.- Mencione los tipos de juntas más comunes de un pavimento rígido, explicando su funcionamiento.
- 67.- En que pruebas se basan los métodos de diseño de un pavimento rígido, explique la de módulo de ruptura.
- 68.-Explique el efecto de bombeo en una losa de concreto hidráulico.



69.-Desarrolle el procedimiento constructivo de una losa de concreto hidráulico empleando cimbra deslizante.

**PROBLEMARIO DE PAVIMENTOS Y TERRACERIAS**

1.- Clasificar los siguientes materiales de acuerdo con el SUCS.

Material	UNO	DOS	TRES
<b>Limite liquido %</b>	<b>27</b>	<b>40</b>	<b>45</b>
<b>Limite plástico %</b>	<b>18</b>	<b>22</b>	<b>30</b>
Mallas	% pasa	% pasa	% pasa
1"	100	100	100
3/4"	98	94	100
1/2"	96	88	98
3/8"	93	81	88
1/4"	90	78	81
Nº 4	81	63	76
Nº 10	73	51	68
Nº 20	60	42	59
Nº 40	50	34	34
Nº 60	35	22	21
Nº 100	26	16	15
Nº 200	18	4	8
Nº 270	12	2	3

2.- Clasificar el siguiente material siguiendo el criterio de la SCT, De un probable banco de préstamo se obtuvo la siguiente información: del 100% del material 24% es suelo y el resto fragmentos de roca, cuya estimación de tamaños es la siguiente el 20% tenía un diámetro de 200 a75 centímetros, el 25% un tamaño de 7.5 a20 centímetros y el resto un diámetro de 20 a75 centímetros, en los suelos se efectuaron ensayos de laboratorio con los siguientes resultados un límite liquido de 48% y un límite plástico de 23% con una contracción lineal de 3% la prueba de olor resulto positiva y el análisis granulométrico fue el siguiente.

Malla	1"	3/4	1/2	3/8	Nº 4	Nº 10	Nº 20	Nº 40	Nº 60	Nº100	Nº200
% Pasa	100	95	85	75	70	65	55	35	20	15	4



3.-con los siguientes datos de laboratorio y campo, obtener el número de golpes por capa de una prueba AASHTO modificada, así como su peso volumétrico y el contenido de humedad óptimo. En el campo se realizaron calas para obtener el grado de compactación; decir si cumple con el mínimo que la SCT para una capa de sub base.

Diámetro del cilindro.....	4"	Peso suelo extraído de cala.....	4.02 Kg.
Altura del cilindro.....	5"	Peso específico de la arena.....	1.35 T/m <sup>3</sup>
Peso del cilindro.....	1980 gramos	Peso equipo + arena antes de cala....	10800 gramos
Peso del cilindro + suelo húmedo	4.99 Kg.	Peso de equipo + arena después de cala	3.7 Kg.
Peso de suelo seco.....	2330 gramos	Peso de suelo seco.....	3.2 kg.
Ee.....	24.7 Kg.-cm./cm <sup>3</sup>	Peso de arena en cono y base.....	830 grs.

4.- Obtener el volumen de material necesario y su costo de extracción para una longitud de 100 metros que se requieren para construir una capa de 25.0 cm. de espesor compacto, si la sección tiene un ancho de corona de 11.0 m. con una relación de taludes de 1:3, se compactara al 97% de su peso volumétrico seco máximo. El peso específico en camellón de los materiales es el siguiente para el tepetate 1200 kg./m<sup>3</sup> y para la grava es de 1420 kg./m<sup>3</sup>, el peso volumétrico seco máximo de la mezcla fue de 1750 kg./m<sup>3</sup>, el peso volumétrico en banco del tepetate es de 1380 kg./m<sup>3</sup> y el de la grava de 1.43 t/m<sup>3</sup>, el costo por m<sup>3</sup> de tepetate es de \$32 y el de la grava es de \$36.

5.-obtener el % mínimo de asfalto de una mezcla con los siguientes datos: se tiene un material compuesto de roca triturada y arena de río a la cual se le determino su peso volumétrico suelto y se obtuvieron los valores indicados abajo, en la prueba de absorción se obtuvo un valor de 4%, para la mezcla se empleara una emulsión asfáltica con un residuo del 67%, siendo la densidad media del asfalto de 0.98.

Malla	1½"	1"	¾"	½"	3/8"	Nº 4	Nº10	Nº20	Nº40	Nº60	Nº100	Nº200
%pasa	100	95	93	84	76	58	41	33	23	16	9	4

**PESO VOLUMETRICO SECO Y SUELTO:**

Peso del cilindro	2850 gramos
Peso del cilindro +suelo	7400 gramos.
Diámetro del cilindro	20.00 centímetros.
Altura del cilindro	18.00 centímetros.

6.- Graficar y calcular el C.B.R. del siguiente material, indicando en que capa del camino puede emplearse, si presento una lectura inicial de 0.08 mm con una lectura final de expansión de 1.27mm y su altura compacta fue de 10.84 centímetros y en la prueba de penetración se obtuvieron los siguientes valores:

Penetración (pulgadas)	Carga (libras)
0.05	290
0.10	520
0.15	990



0.20	1400
0.30	1600
0.40	2100
0.50	2800

7.- Se efectuó una prueba de placa sobre la subrasante, la placa inferior tiene un diámetro de 30" y la deformación máxima aceptada es de 0.3" para lo cual se requirió de una presión de 10 psi. Sobre esta capa se construyó una base con un espesor compacto de 10" se realizó otra prueba de placa para la misma deformación, se necesitó de una presión de 34 psi. La carga de proyecto la efectuara una rueda que soporta un peso de 28 Kips y tiene una presión de inflado de 705 psi. ¿Decir si el espesor propuesto es suficiente y en caso contrario mencionar que solución podemos tener?.

8.- Se construyó una subrasante de 65 centímetros de espesor compacto, sobre la que se efectuó una prueba de placa la cual tiene un diámetro de 76.2 centímetros, la presión aplicada para una deformación de 0.15" fue de 12 psi. sobre la capa anterior se colocó una capa de base que tiene un espesor compacto de 40.0 centímetros y para la misma deformación se requirió una presión de 42.0 psi, sobre de esta pista se tendrán aeronaves con un peso por pierna de 30.0 toneladas, con una presión de inflado de en los neumáticos de 120 psi. ¿Decir si el espesor propuesto es el adecuado por soportar este esfuerzo?

9.-Calcular los esfuerzos provocados por una llanta circular para las siguientes condiciones: carga del neumático 12 000 kg. Presión de inflado de 110 psi. obtener los esfuerzos a las profundidades de 20,40 y 60 cm. de profundidad empleando la formula y el nomograma, comparar los resultados obtenidos, indicando con cual se tiene mayor precisión, mencionar en qué condiciones se emplea el nomograma.

10.- Del resultado de pruebas de campo sobre una subrasante se obtuvieron los siguientes valores promedio: para una deformación de 0.2" en una placa de 30" de diámetro la presión requerida fue de 15 psi. Sobre esta subrasante se construyó una base de 8" de espesor compacto, sobre la cual se efectuaron pruebas de placa y la presión requerida fue de 34 psi., determinar el módulo de elasticidad de la base y decir si el espesor propuesto es suficiente para soportar una carga de 22 000 libras con una presión de inflado de 95 psi.

11.- se va a construir un camino y se requiere conocer la capacidad de carga de la base que tiene 32 cm. de espesor compacto, si además se tienen los siguientes datos: carpeta asfáltica de 8" de espesor con un peso específico de 1490 kg/m<sup>3</sup>, la base presenta un peso volumétrico de 1390 kg./m<sup>3</sup> con una cohesión de 1.1ton/m<sup>2</sup> y tiene un ángulo de fricción interna de 32°, la carga de proyecto la ejercerá un neumático que carga 35 000 libras con una presión de inflado de 105 psi., se considera que la carga máxima esta aplicada en el centro.

12.- Obtener la capacidad de carga de la subrasante que tiene un espesor de 60 cm., para determinar si es capaz de soportar sin fallar una carga de 23 000 libras que tiene una presión de inflado de 98 psi., del resultado de pruebas triaxial se obtuvo la siguiente información: una cohesión de 0.9 psi. Con un ángulo de fricción de 22° y un peso volumétrico de 112 libras/pie<sup>3</sup>, el espesor de la base es de 30 cm. con un peso específico de 122 libras/pie<sup>3</sup>, con una carpeta asfáltica de 4" de espesor y un peso volumétrico de 1400 kg./m<sup>3</sup>.

13.- Determinar la capacidad de carga de la subrasante y de la base, si el espesor de la carpeta es de 6" con un peso específico de 145 libras/pie<sup>3</sup>, la base hidráulica tiene un espesor de 8" con un peso volumétrico de 134 libras/pie<sup>3</sup>, con una C= 1.2 psi y un Ø=35°, la sub base es de 6" y un peso volumétrico de 120 libras/pie<sup>3</sup>, la subrasante tiene una cohesión de 0.2 psi. Y un Ø=25° con un peso volumétrico de 100 psi., la carga de proyecto la ejercerá un vehículo de 30 Kips con una presión de inflado 75 psi.



14.- Se realizó una prueba de placa en la subrasante, la cual tiene un diámetro de 89 cm. la deformación máxima aceptada de antemano fue de 0.508 cm. y se requirió una presión de 12 psi. Al material de esta capa se le efectuó un ensaye triaxial y presente una  $C=0.60$  psi. Con un  $\emptyset=22^\circ$  y un peso específico de 110 libras/pie<sup>3</sup>, sobre esta capa se colocó una base de 60 cm. de espesor y la presión aplicada para la misma deformación fue de 55 psi. Presenta un peso volumétrico de 140 libras/pie<sup>3</sup>. la carga de proyecto la ejercerá una aeronave que carga por pierna de su tren de aterrizaje 23 400 kg. Con una presión de inflado de 140 psi., decir si el espesor propuesto es suficiente y obtener la capacidad de carga de la subrasante considerando que el espesor de la carpeta asfáltica es de 6", se considera que la base tendrá el espesor propuesto y la subrasante 120 cm. de espesor.

15.-Calcular la carga equivalente del siguiente sistema dual, con los siguientes datos: distancia interna entre ruedas 30.5 cm. con una carga de 35 Kips y una presión de inflado de 95 psi. Se considera que la profundidad (Z) es igual a 2/3 de 2S.

16.- Diseñar el pavimento flexible por el método del Instituto Norteamericano del Asfalto, considerando que la carga máxima de diseño se obtiene de dos neumáticos que se deben transformar a una carga equivalente con los siguientes datos: distancia interna 22 cm. y cada una soporta una carga de 10 Kips y una presión de inflado de 45 psi. Para efectuar este cálculo se propone que la profundidad se considere igual a 2S, para el diseño del pavimento se recomienda efectuarlo empleando una base estabilizada y material de sub base.

T.P.D.A.	8200				
VIDA UTIL (años)	12	Ap	20 %	C=90%	V=?
INCREMENTO DE TRANSITO	3%	Ac	6 %	C=70 %	V=?
C.B.R. TERRENO	6%	B	10%	C=?	V=45%
C.B.R. SUBRASANTE	15%	C <sub>2</sub>	16%	C=?	V=35%
C.B.R. SUBBASE	35%	C <sub>3</sub>	20 %	C=20%	V=?
C.B.R. DE LA BASE	80%	T <sub>2</sub> -S <sub>1</sub>	¿	C=75%	V=?
PESO PROMEDIO VEHICULOS	45 Kips	T <sub>2</sub> -S <sub>2</sub>	9%	C=?	V=23%
CUATRO CARRILES		T <sub>3</sub> -S <sub>2</sub>	10%	C=?	V=13%

17.- Diseñar un pavimento flexible empleando el sistema del **Instituto de Ingeniería**, al diseñar se debe tomar en consideración que cerca de la obra se tienen materiales con características de sub base el cual se debe emplear para economizar costos.

T.P.D.A.	10800		COEFICIENTE DE CONFIANZA	87%
4 CARRILES			CERTEZA DE LAS PRUEBAS	95%
VIDA UTIL (Años)	15	Ap	17%	C=95%
VARIACION DEL TRANSITO	4.5%	Ac	10%	C=87%
C.B.R. TERRAPLEN	10%	B	¿	C=84%
C.B.R. DE SUBRASANTE	18%	C <sub>2</sub>	12%	C=55%
C.B.R. DE SUBBASE	35%	C <sub>3</sub>	15%	C=78%
C.B.R. DE BASE	80%	T <sub>2</sub> -S <sub>1</sub>	9%	C=82%
CARGA MAXIMA DE DISEÑO	18 Kips	T <sub>2</sub> -S <sub>2</sub>	15%	C=65%
PESO PROM. VEHICULOS	65 Kips	T <sub>3</sub> -S <sub>2</sub>	6%	C=88%



18.- Efectuar el diseño por el método del Instituto de Ingeniería para una carretera de dos carriles con la siguiente información: el T.P.D.A. en ambos sentidos es de 5000 vehículos y el tránsito crecerá a una tasa anual del 8%, siendo la vida útil de proyecto de 12 años, con un nivel de confianza de 87%.

Tipo de vehículo	cantidad	cargados
Ap	3000	1.0
Ac	300	1.0
B	800	1.0
C <sub>2</sub>	300	0.8
C <sub>3</sub>	200	0.7
T <sub>2</sub> -S <sub>1</sub>	150	0.6
T <sub>2</sub> -S <sub>2</sub>	150	0.7
T <sub>2</sub> -S <sub>3</sub>	100	0.8

**C.B.R. de proyecto**

Cuerpo de terraplén	4.8%
Subrasante	9.5%
Subbase	24%
Base	65%

**C.B.R. de campo:**

Terraplén	4.8,5.5,5.3,4.9,4.6,4.9,4.7,4.5,4.7,4.7
Subrasante	8.9,9.2,9.4,9.3,9.0,9.9,9.6,9.6,9.7,9.9
Sub base	22.5,24,23.7,23.6,23.2,23,23.5,23.1,22.8,23.6
Base	64,66,62,64,63,63,63,65,65,66

La relación estructural de las capas es de 1.0 base y las otras capas y de 0.5 para la carpeta.

19.- Diseñar una losa de pavimento rígido por el sistema de la P.C.A. con los siguientes datos:  
 K de la subrasante de 2.5 kg/cm<sup>3</sup>, módulo de reacción de la sub base de 4.0 kg./cm<sup>3</sup>., se proyectara para un tránsito intenso y en base a esto se proponen algunos valores específicos, decir en cuál de los tres casos posibles se encuentra su diseño.

Carga por eje sencillo	Repeticiones esperadas
18,2 toneladas	3900
16,3 toneladas	3900
14,2 toneladas	7200
10,4 toneladas	7200
10,0 toneladas	95000
Carga por eje en tandem	
30 toneladas	3900
28 toneladas	3900
24 toneladas	37000
22 toneladas	37000

20.- Diseñar un pavimento rígido por el sistema de la AASHTO con los siguientes datos:  
 El valor de K es de 100 pci., el módulo de elasticidad del concreto Ec=5x10<sup>6</sup> psi. el módulo de ruptura de dicho concreto es de 600 psi. Teniéndose una losa tipo JPCP de asfalto, con un coeficiente de drenaje regular, se considera de una semana con un valor de 1-5, requiriéndose un rediseño cuando alcance un



valor de calificación de 2,5 con la confiabilidad de una autopista de pavimento urbano y un número estimado de ejes equivalentes en su vida útil de  $11 \cdot 10^6$ .