

12 87015

2ej

Universidad Autónoma de Guadalajara
INCORPORADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

“ PAVIMENTOS ASFALTICOS ”

Tesis Profesional

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A
HUMBERTO MARIN LEON

GUADALAJARA, JAL.

1989



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

	PAG.
CAPITULO I: CONCEPTO DE PAVIMENTO FLEXIBLE	
A).- CONCEPTO DE PAVIMENTO FLEXIBLE -----	1
B).- CONDICIONES QUE DEBEN CUMPLIR LOS PAVI- MENTOS FLEXIDLLS -----	4
CAPITULO II: DIFERENTES PRUEBAS PARA EL DISEÑO DE - PAVIMENTOS FLEXIBLES.	
A).- V.R.S. -----	8
B).- PRUEBA DE PLACA -----	22
C).- PRUEBA HVEEN -----	36
METODO DEL INSTITUTO DE INGENIERIA DE - LA U.N.A.M. -----	50
CAPITULO III: ASFALTOS	
A).- AGLUTINANTES PARA PAVIMENTOS ASFALTICOS	53
B).- MATERIALES ASFALTICOS -----	57
CAPITULO IV: COLOCACION DEL CONCRETO ASFALTICO Y - COMPACTACION.	
A).- PREPARACION PARA LA COLOCACION DEL CONCRE TO ASFALTICO -----	69

	PAG.
B).- LA DISTRIBUCION Y TERMINACION A MAQUINA -	70
C).- COMPACTACION DE LA SUPERFICIE TERMINADA -	70
 CAPITULO V: PREPARACION DE MEZCLAS ASFALTICAS.	
GENERALIDADES: -----	72
A).- MEZCLAS ELABORADAS EN PLANTA -----	72
A.1) EN CALIENTE -----	73
A.2) EN FRIO -----	75
B).- MEZCLAS ELABORADAS EN EL LUGAR -----	76
C).- MEZCLAS DE GRADUACION ABIERTA -----	80
METODO MARSHALL -----	83
DETERMINACION DEL CONTENIDO OPTIMO DE AS-- FALTO X PRUEBAS DE COMPRESION SIN CONFINAR.	90
 CAPITULO VI: PAVIMENTOS DE PENETRACION INVERTIDA.	
A).- PALIATIVOS CONTRA EL POLVO -----	94
B).- REVESTIMIENTOS TAPA-POROS -----	96
C).- REVESTIMIENTO ADHESIVOS -----	97
D).- TRATAMIENTO SUPERFICIAL (REVESTIMIENTO DE- PROTECCION -----	98
 CAPITULO VII: APLICACIONES (EJEMPLOS)	
SE TRATARA UN EJEMPLO DEL METODO DEL INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA U.N.A.M.	
EJEMPLOS: -----	101

CONCLUSIONES	-----	115
BIBLIOGRAFIA	-----	117

C A P I T U L O I

CONCEPTO DE PAVIMENTO FLEXIBLE

A).- CONCEPTO DE PAVIMENTO FLEXIBLE.-

Pavimento: Es una estructura de una o más capas de material tratado, capas de soportar y transmitir los esfuerzos a capas inferiores en niveles tolerables y que sirve para proporcionar una superficie de rodamiento de vehículos en una forma rápida, segura y cómoda.

Hay dos tipos de pavimentos y son:

1.- Flexibles

2.- Rígidos

El pavimento flexible generalmente está constituido por una carpeta asfáltica, una capa de material de base y una capa de material de sub-base. La carpeta puede ser de varios centímetros de espesor y reducirse a un tratamiento superficial de un riego, ésto se determina según el tipo de terreno en el cual vayamos a trabajar.

Dentro de estas especificaciones, los pavimentos flexibles deben estar diseñados para soportar y transmitir los esfuerzos a capas inferiores en niveles tolerables y la cual sirve para proporcionar una superficie segura.

El pavimento rígido es una estructura de concreto simple, reforzada que puede apoyarse en la sub-base o directamente en la terracería.

Los pavimentos flexibles están diseñados por distintas capas, de los cuales enunciare a continuación:

Carpeta.

Los constructoras se refieren a todas las superficies asfálticas con el nombre de base negra debido a su apariencia. Se han originado muchas críticas inmerecidas por esta denominación, ya que aquellos que no están bien informados creen que las fallas de los pavimentos provisionales más baratos se presentan también en todos los pavimentos asfálticos. En cambio, ha surgido una diversidad de nombres entre los ingenieros de caminos, en tal forma que las personas que tratan de distinguirlos frecuentemente se desorientan.

Condiciones que debe cumplir:

- Debe de ser impermeable, lo cual evita la erosión de las otras capas.
- Baja su resistencia con el agua, mediante presión de poro.
- Puede presentar tuificación, cuando el suelo es arenoso, ese suelo empieza a arrastrar partículas pequeñas por falta de presión y producir un colapso, en arenas y limos sin cohesión.

Bases.

Una base es la capa que se encuentra por debajo de la superficie de desgaste, ya sea asfáltica o de concreto hidráulico, o que sea solamente un revestimiento superficial de asfalto. Debido a que la base queda debajo de la carpeta, ésta se encuentra su

jeta a cargas muy elevadas.

Dado el punto de vista estructural es una de las partes más importantes del pavimento. Entre las funciones que tiene esta capa, tenemos:

- 1.- Sirve como capa rompedora de capilaridad; utilizando un agregado grueso.
- 2.- Sirve como capa drenante.
- 3.- Disminuye los efectos de las heladas, ya que al congelarse el agua en el pavimento, puede producir agrietamientos mediante expansión.
- 4.- Absorbe deformaciones de las terracerías, de tal forma, que no se presentan en la superficie del pavimento.
- 5.- Desde el punto de vista económico, la base que tiene mayor resistencia, permite que el espesor de la carpeta se reduzca.

Desde 1940, las bases tratadas, compuestas de agregados -- minerales y aditivos, para hacerlas más fuertes o resistentes a la humedad, han venido siendo más comunes. Entre los agentes de tratamiento se encuentran los aglutinantes asfálticos, cemento -- hidráulico y otras sustancias químicas que incluyan el cloruro de calcio, cal y compuestos orgánicos.

Sub-base:

Otra de las partes que componen los pavimentos flexibles es la sub-base, sus funciones son similares a la de la base, so-

porta esfuerzos y transmite a las capas inferiores, aunque los esfuerzos que le llegan a ésta, son menores que los de la capa y la base. Requiere una resistencia más o menos alta, -- por lo que debemos construirla con materiales gruesos, aunque se aceptan un poco más finos que en el caso de la base.

Condiciones que debe cumplir:

Desde el punto de vista de drenaje, funciona para romper la capilaridad, o bien, para sacar al agua que pudiera llegar a la parte superior.

Sirve para absorber deformaciones de las terracerías, -- sin transmitir las a capas superiores. Además, sirve como capa de transmisión entre la base y la subrasante, para que no se inyecten los finos en los huecos, dejado por el material grueso.

Este espesor de sub-base, permite que se reduzcan los costos del pavimento, ya que se disminuye el espesor de la capa de base.

B).- CONDICIONES QUE DEBE CUMPLIR LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES.-

Los pavimentos asfálticos son combinaciones de agregados y material asfáltico de varios espesores y tipos. En general, -- se incluyen una multitud de pavimentos que varían desde los tratamientos superficiales baratos de 0.35 mm o menos de espesor, -- hasta los concretos asfálticos que a veces son comparables en --

su costo y dimensiones con los pavimentos de concreto de cemento hidráulico Portland.

Las carpetas asfálticas relativamente delgadas, que es la que realmente soporta las cargas aplicadas, es una capa de desgaste e impermeabilización económica. Estas carpetas delgadas que se usan generalmente para tráfico ligero, no añaden gran resistencia a la estructura del pavimento en conjunto, pero le proporciona una superficie que permite la circulación en todo el tiempo, y protege a las capas inferiores e la destrucción por el tránsito y los agentes atmosféricos.

Las carpetas asfálticas para tráfico pesado tienen espesores de 7.5 cm. o más, contribuyendo a la resistencia de la estructura del pavimento en conjunto, ya que el incremento de resistencia es proporcional al incremento en espesor de la carpeta asfáltica.

El propósito de la carpeta es la de proveer un manejo suave y seguro en la superficie de rodamiento. La superficie debe poseer resistencia al derrapamiento, resistencia a los grandes pesos que circulen, así como a los vehículos de poco peso, debe tener resistencia permanente a las deformaciones. Muchas funciones y requerimientos estructurales son puestos en la superficie.

Por el gran número de materiales bituminosos que están

disponibles para la construcción y flexibilidad de técnicas - de construcción, muchos tipos de superficies bituminosas pueden ser construidas. Los tipos de superficie dependen hasta - donde el peso que será aplicado al pavimento, así como sea la disponibilidad económica y de la disponibilidad de los materiales de construcción.

Dentro de las condiciones que deben cumplir los pavimenentos asfálticos, debemos tomar muy en cuenta a la base y sub-base ya que forman parte de éste. En relación con estas capas, - las especificaciones generales de construcción fijan las características mínimas de calidad, en cuanto a granulometría, el - valor relativo de soporte, plasticidad y valor cementante de - los materiales, así como la fijación mínima para dichas cargas,

Actualmente el criterio que se emplea para carreteras- con el espesor mínimo de la base es de 12 cm. y para tránsitos mayores, dicho espesor es de 15 cm., en el caso de la sub-base,, el espesor mínimo fijado es de 10 cm. Se hace notar que en general es conveniente construir la capa de la sub-base, para que la base quede sobre una superficie uniforme y debidamente compactada, evitando de esta manera que sobresalgan las partículas gruesas de las terracerías, o las irregularidades del piso de - los cortes en roca y por otra parte, para garantizar condiciones de tipo estructural al pavimento de las carreteras, sin embargo, en algunos casos podemos omitir la sub-base, ésto cuando

contamos con material de muy buena calidad en la capa subrasante.

Para los tamaños de los materiales de sub-base y base, tenemos como tamaños máximos de acuerdo a las especificaciones los siguientes: hasta de 2" (5cm), pero cuando los materiales requieren tratamientos, ya sea cribado o triturado se puede tomar como tamaño máximo 1.5", de esta forma es más segura para obtener la granulometría deseada y de esta manera, tener un material más uniforme, lo cual nos facilitará el tenido y obtener superficies con mejores acabados.

Con lo que respecta a la compactación que se le debe proporcionar a los materiales de la sub-base y base, en base a la experiencia que se tiene, en los materiales bien graduados se puede obtener fácilmente el 100% de compactación, mediante los estudios de laboratorio se ha demostrado que estos materiales aumentan su V.R.S. cuando se les incrementa su compactación del 95% al 100%.

Con lo que respecta a la capa de la sub-base, en la cual se utilizan materiales de menor exigencia, su compactación adecuada será de un 95%, sin embargo, el hecho de tener un buen material bien graduado y los espesores del pavimento cuenten con poco margen de seguridad, por lo tanto, resulta conveniente compactar la capa al 100%.

C A P I T U L O I I

DIFERENTES PRUEBAS PARA EL DISEÑO DE
PAVIMENTOS FLEXIBLES

PRUEBAS PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA DE LOS SUELOS

INTRODUCCION:

Para determinar la resistencia de los suelos, se han usado muchas pruebas, en su mayoría arbitrarias, que su utilidad radica en la correlación de los resultados de las mismas con el funcionamiento real en el campo. Los procedimientos de estas pruebas han sido estandarizadas, por tal motivo, debe hacerse la ejecución al pie de la letra para obtener resultados confiables.

En general, la resistencia del suelo dependen de la densidad o peso volumétrico, contenido de agua y textura del mismo. Los incrementos de peso volumétrico generalmente son acompañados de incrementos de resistencia, mientras que los aumentos en el contenido de agua a su vez, están acompañados generalmente por decrementos de la resistencia.

METODOS DE DISEÑO

PRUEBAS MODIFICADAS DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTO. (VRS).

Práctica de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

La SCT ha desarrollado para su práctica, el diseño de espesores de pavimentos flexibles, una serie de modificaciones a la prueba para determinar el VRS en los suelos.

Las modificaciones introducidas a la prueba de valor relativo de soporte, llevan como fin principal representar -- las condiciones más desfavorables que presentara el material una vez que éste ha sido construido en realidad. Por lo tanto, las pruebas modificadas tratan de reproducir las condiciones de compactación y humedad a los que estará sujeto el material en la obra ya construida. De estas pruebas, de la experiencia y buen sentido del diseñador, se desprende el criterio para elegir el VRS que se empleará en las curvas de diseño desarrolladas por la SCT y cuyo método de diseño se explicará a continuación.

PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE PARA DIFERENTES GRADOS DE COMPACTACION.

Equipo necesario:

- a).- Un molde cilíndrico de compactación de 15.75 cm. 6.2 pulgadas de diámetro interior y 12.75 cm de altura, provisto de un sujetador.
- b).- Un collarín del mismo diámetro interior del cilindro y 7.62 cm. (3 pulgadas) de altura.
- c).- Una máquina de compresión con capacidad mínima de 30 Ton. y aproximación en las lecturas de más o menos 10 Kg. para cargas bajas.

- d).- Una varilla metálica de 1.9 cm. de diámetro y 30 cm. de longitud, para el picado del material en el molde.
- e).- Una placa para compactar con un diámetro ligeramente menor que el del cilindro, que pueda sujetarse al cabezal de la máquina de compresión.
- f).- Dos placas de carga con un diámetro ligeramente menor que el diámetro del cilindro, con un orificio central de 5.2 - cm (2") de diámetro y un peso total de 6 kg.
- g).- Un cilindro de acero para la prueba de penetración con una sección de 19.35 cm², que pueda sujetarse a la cabeza de - carga de la máquina.
- h).- Un extensómetro de carátula graduada en milésimos de pulgada.
- i).- Una malla No. 4
- j).- Balanza,, con sensibilidad en gramos.
- k).- Un horno que mantenga la temperatura entre 100 y 110° C.
- l).- Una balanza de 200 gr. con sensibilidad de 0.01 gr.
- m).- Cápsula para la determinación de la humedad.
- n).- Charolas de lámina galvanizada.
- ñ).- Una probeta graduada de 100 cm³.
- o).- Una probeta graduada de 500 cm³.

PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA.-

El procedimiento que a continuación describo es el que deberá seguirse para los materiales que pasen la malla No. 4, o a lo más tengan un retenido del 10% en esta malla, pero que pasen la malla 3/8". La muestra por analizar, se tamizará por la malla No. 4 y los grumos que se hayan retenido, se disgregarán y se volverán a tamizar por la misma malla, continuando se este proceso hasta que los grumos ya no puedan ser disgregados. La porción retenida en la malla No. 4, se tamizará por la maya de 3/8" y el retenido en la primera pasará e incorporará el resto de la muestra para efectuar las pruebas. Terminada la operación de disgregación, se mezclará perfectamente todo el material, debiendo pesar cuando menos 25 kg.

Si la muestra original, contiene menos del 15% en peso de material que se retiene en la malla No. 4, deberá utilizarse para la prueba todo el material que al ser cribado pase por dicha malla; desechándose el material retenido. Cuando el material retenido en la malla No. 4 exceda del 15%, será necesario substituir este retenido por una cantidad igual en peso de material petreo que pase la malla mencionada y se retenga en la No. 4, el cual deberá de tomarse de otra muestra. La muestra deberá disgregarse y mezclarse, para después, por cuarteo, separar las porciones necesarias para ejecutar las pruebas. La cantidad total de la muestra no deberá ser menor de 30 Kg.

Esta prueba consiste en medir la resistencia a la penetración de especímenes de material, que ha sido compactado para producir los pesos volumétricos que corresponden a diferentes grados de compactación, empleando las humedades que especificaré más adelante.

Los pasos a seguir para llevar a cabo la prueba son los siguientes:

- 1.- Para obtener las humedades correspondientes de cada uno de los pesos volumétricos secos a los cuales se le hará la penetración, verificaremos en suelos finos la prueba proctor utilizando 30 golpes. Y en suelos se determina peso volumétrico máximo y humedad óptima en un molde de 5 pulgadas. - Conviene hacer varias veces la prueba, para tener una seguridad en los resultados, de los cuales se tomarán los promedios de los pesos volumétricos máximos y humedades óptimas obtenidas. De acuerdo a las precipitaciones pluviales de la región y drenaje de la terracería, deberán tomarse las humedades según el siguiente criterio:
 - a).- En terracerías bien drenadas construidas en regiones donde llueve poco, las humedades de la prueba serán constantes e igual a la óptima de compactación.
 - b).- En regiones donde llueve mucho, con drenaje deficiente, con terraplenes muy bajos y cortes con filtración, las

humedades serán variables, de acuerdo al grado de compactación.

Las humedades de prueba se indican en el siguiente cuadro:

Grado de Compactación.	Variante 1 Buen drenaje y precipitación baja a media	Variante 2 Drenaje deficiente y precipitación media c alta.
100	Wo	Wo
95	Wo	Wo + 1.5
90 - 75	Wo	Wo + 3.0

En el caso de suelos finos, generalmente no es conveniente producir compactaciones menores de 85%, por representar dificultades y errores en la ejecución de la prueba.

Las humedades y pesos volumétricos sueltos secos que corresponden a cada uno de los grados de compactación indicados, serán los que se reproduzcan para hacer la prueba de penetración en la forma que a continuación se indica:

- 2.- Con el objeto de determinar la humedad del material preparado, se toma una muestra de 80 gramos, en el caso de suelos finos, y para suelos gruesos se toma un Kg. esta muestra se mete al horno durante 20 horas a una temperatura de (100-110° C). La humedad así determinada, se anota como "WL".

La cantidad necesaria de agua que se le debe agregar a la muestra de prueba, se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Agua por agregar en c.c.} = P \frac{W2 - W1}{100 + W1}$$

Donde:

P = Cantidad en gramos del material con humedad "W1".

La cual deberá de ser de 5000 gr.

W1 = Humedad que contiene el material

W2 = Humedad a la que debe hacerse la prueba, dependiendo del grado de compactación.

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

3.- Para conocer el peso del material húmedo que deberá compactarse, se emplea la siguiente fórmula:

$$Pw = \frac{s}{1000} \times \frac{(100 + W2)}{100} = 0.786 \text{ d}^2\text{h}$$

Donde:

Pw = Peso del material húmedo, en gramos, con la humedad de prueba.

s = Peso volumétrico seco, en Kg/m³.

W2 = Humedad a la que deberá hacerse la prueba.

d = Diámetro interior del cilindro de compactación, en cm.

h = Altura que deberá tener el material en cm.

$0.786 d^2 h$ = Volumen del cilindro.

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

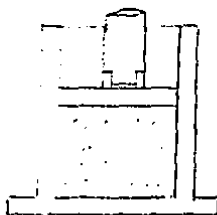
- 4.- Para la incorporación del agua y compactación de la muestra se tomarán por cuarteo, muestras de 5 Kg. cada una.

Una de ellas será compactada al peso volumétrico seco máximo, con la humedad óptima, debiendo así agregar la cantidad necesaria de agua para que alcance la humedad deseada. Se homogeniza y se toma la cantidad de material húmedo " P_w " correspondiente al 100% de compactación, el sobrante no deberá mezclarse con las demás muestras.

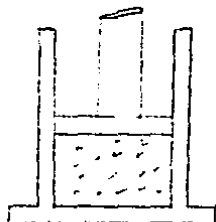
La cantidad " P_w " del material se colocará en tres capas dentro del molde con el collarín puesto, a cada una de las capas se le dará 25 golpes con la varilla de 1.3 cm. de diámetro (5/8").

Al terminar la colocación de la última capa se pesará el molde con el material para cerciorarse de que no ha habido pérdida de material. Se coloca el molde en la prensa y se compacta el material con cargas aplicadas uniforme y lentamente, hasta alcan

zar la altura "h" prefijada.



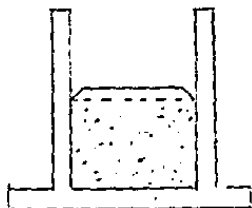
MATERIAL SUELTO



COMPACTADO

Cuando se haya logrado que el espécimen tenga la altura "h", se dejará sin descargar durante un minuto, después lentamente se descarga y se permite que el material reaccione aumentando de volumen debiendo medirse el incremento de altura o rebote elástico. Se vuelve a aplicar la carga hasta alcanzar una altura un poco menor que la "h", esta disminución de altura debe ser aproximadamente igual al rebote elástico medio, a fin de que al reaccionar el material alcance precisamente la altura "h".

Si la altura de rebote es mayor que "h", se sigue el mismo procedimiento hasta lograr la altura "h". Si al compactarlo quedara una altura menor que "h", se desecha la prueba.



REBOTE

ELASTICO

Cuando la carga que sea necesaria aplicar al material para llegar a la altura "h" sea mayor de 5 toneladas, la operación de descarga deberá hacerse una vez a cada 5 toneladas que se --- apliquen y cuando se llega a la altura "h" las cargas y descargas deberán hacerse en la misma forma indicada.

Si al compactar la muestra, se inicia la expulsión de agua por la base al llegar a una altura cercana "h", se mantiene la carga constante, inmediatamente después se dará un pequeño incremento de carga y se repite la operación. Si hay expulsión de material en vez de agua, la prueba se desecha.

El espécimen ya compactado se sujeta a la prueba de pene---

tracción, siguiendo los pasos que a continuación se indican:

- a).- Se colocan las placas de carga con el orificio central sobre el molde.
- b).- Se coloca el molde en la prensa de manera que la aguja de penetración pase a través de los orificios de la placa y toque la superficie de la muestra.
- c).- Se aplica una carga de diez kilogramos y sin retirarla se ajusta el extensómetro a cero para registrar el desplazamiento vertical. Esta carga inicial es considerada como carga cero.
- d).- Aplicar cargas en pequeños incrementos, procurando que la velocidad de desplazamiento sea de 1.25 mm/mín. (0.52/mín)
- e).- Se anotan las cargas correspondientes a cada una de las 7 penetraciones indicadas en el cuadro siguiente:

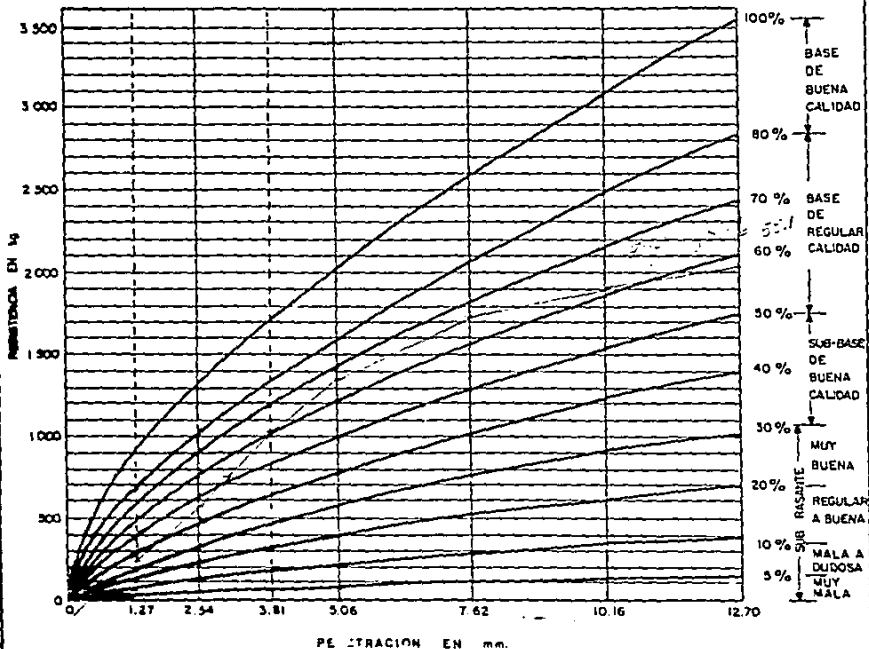
Aplicación	"t" en minutos	En Milímetros	En pulgadas	Cargas Registradas
Primera	1	1.27	0.05	
Segunda	2	2.54	0.10	
Tercera	3	3.81	0.15	
Cuarta	4	5.08	0.20	
Quinta	6	7.62	0.30	
Sexta	8	10.16	0.40	
Séptima	10	12.70	0.50	

f).- Una vez efectuada la prueba de penetración se extraerá - el espécimen del molde y se procederá a tomar una mues-- tra del corazón, para comprobar la humedad. En el caso - de suelos gruesos se determina la humedad secando todo - el espécimen.

PRUEBA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE

DESCRIPCION DE LA MUESTRA _____	ENSAYE No. _____
ESTUDIO QUE SE LE VA A EFECTUAR _____	FECHA DE INICIACION _____
PROCEDENCIA _____	FECHA DE TERMINACION _____
	LABORATORISTA _____

GRAFICA RESISTENCIA PENETRACION



EXPANSION

DIAS TRANSCURRIDOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
LECTURA											

DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO SECO MAXIMO PORTER Y DEL V.R.S. ESTANDAR

DESCRIPCION DE LA MUESTRA <u>110023</u>	ENSAYES N° _____
ESTUDIO POR EFECTUAR _____	FECHA DE INICIACION _____
PROCEDENCIA _____	FECHA DE TERMINACION _____
	LABORATORISTA _____

ENSAYE N°							
EQUIPO	<u>24</u>						
PESO SECO	<u>4200</u>						
PESO HUMEDO (Wm.)	<u>4500</u>						
AGUA AGREGADA	<u>1100</u>						
ALTURA DEL MOLDE	<u>19.00</u>						
ALTURA FALTANTE	<u>5.00</u>						
ALTURA DEL MATERIAL	<u>13.50</u>						
AREA DEL MOLDE	<u>105.1</u>						
VOLUMEN DE MATERIAL (Vm.)	<u>555</u>						
P.E.M.H. [$\gamma m^3 = \frac{Wm.}{Vm.}$]	<u>12.97</u>						
P.E.S.M. [$\gamma d \text{ máx.}$]	<u>12.97</u>						
HUMEDAD OPTIMA	<u>24.0</u>						
V. R. S.	<u>55.1</u>						
PENETRACION							
1.27 mm.	<u>25.0</u>						
2.54 mm.	<u>25.0</u>						
3.81 mm.	<u>15.0</u>						
5.08 mm.	<u>15.0</u>						
7.62 mm.	<u>15.0</u>						
10.16 mm.	<u>15.0</u>						
12.70 mm.	<u>25.0</u>						
EXPANSION							
FECHA							
LECTURA INICIAL	<u>2.4</u>						
LECTURA FINAL	<u>2.4</u>						
DIFERENCIA	<u>0.0</u>						
EXPANSION %	<u>0.000</u>						

B).- PRUEBA DE PLACA

Determinación del valor de soporte, método de McLeod, adoptado por el Instituto de Asfalto.

GENERALIDADES:

Las pruebas de placa se usan para medir la resistencia a cualquier profundidad, tanto de un suelo en estado natural, como de cualquier elemento de la estructura de un pavimento flexible.

Los criterios para efectuar las pruebas dependerán del tipo de pavimento que se vaya a proyectar y son los siguientes:

a).- Carreteras

- 1.- Placa de asiento de 304.8 mm (12")
- 2.- Deformación de 50.8 mm (2")
- 3.- Repeticiones de carga (10)

b).- Aeropista

- 1.- Placa de asiento de 762 mm (30")
- 2.- Deformación de 12.7 mm (0.5")
- 3.- 10 Repeticiones de carga

DEFINICIONES:

Para poder explicar el procedimiento de la prueba, es necesario definir los siguientes términos:

- a),- Deflexión: La cantidad de movimiento vertical hacia abajo de una superficie debido a la aplicación de una carga.
- b).- Deflexión residual: la diferencia entre la original y la final elevación de una superficie, resultado de la carga y descarga.
- c).- Deflexión de rebote: La cantidad de rebote vertical de una superficie que ocurre cuando la carga es retirada de la superficie.

EQUIPO DE PRUEBA.

En la ejecución de esta prueba intervienen tres sistemas:

- a).- Sistema de reacción.
 - b),- Sistema de carga
 - c),- Sistema de control
- a).- Sistema de reacción.

El sistema de reacción será proporcionado por un camión pesado de remolque, una estructura anclada o cualquier otro peso de 12 Ton. en el caso de carreteras y 20 Ton. para aeropistas.

- b).- Sistema de carga.

Está constituido por un gato hidráulico provisto de un manómetro, un juego de placas circulares colocadas en disposi-

ción piramidal, con un espesor mínimo de 2.5 cm. con diámetro que varía según sea el caso.

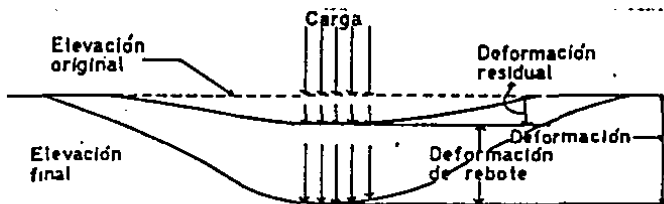
- 1.- En pruebas para pavimentos de carretera se usan dos placas con diámetro de 304.8 mm (12") y 152.4 mm (6"), respectivamente.
- 2.- Para las pruebas en aeropistas se usa un juego de placas (mínimo 4 placas), 30, 24, 18 y 12".

c).- Sistema de Control

Está constituido por dos o más micrómetros con aproximación hasta de 0.01 mm, si son dos deberán colocarse a 180° , y si son tres los más usados se pondrán a una separación de 120° y en una distancia inferior a la diferencia de la placa mayor de asiento, además debe contar con cronómetros con el objeto de medir los intervalos de aplicación de carga.

PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA.-

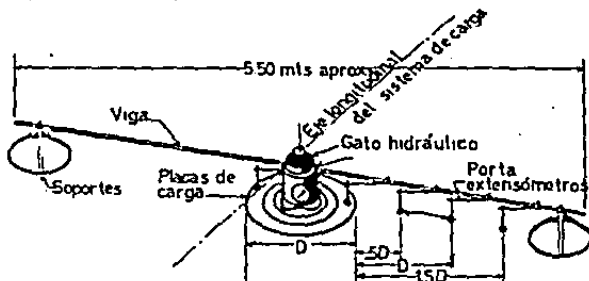
- a).- Se centra cuidadosamente la placa bajo el gato hidráulico, colocandola sobre una capa de arena fina con el objeto de proporcionar un asiento uniforme a dicha placa, en seguida se colocan las placas de diámetro menor concéntricamente sobre la placa de asentamiento. Previamente se empareja el terreno para tener una superficie uniforme y horizontal posible.



DIFERENCIA ENTRE DEFORMACION,
DEFORMACION RESIDUAL Y DEFORMACION
DE REBOTE

- b).- Para ajustar los sistemas de carga y control se le aplica una carga que sea suficiente como para hacer una deformación no menor de 0.25 mm (0.01"), ni mayor de 0.5 mm (0.02"). Después se aplica la mitad de la carga anterior y se ponen a cero los micrómetros para empezar la prueba; esta última carga es la llamada carga de ajuste.
- c).- Se aplica una carga que provoque una deformación de 1 mm (0.04") y se sostiene hasta que la velocidad de deformación sea de 0.025 mm (0.001"), por minuto o menos, durante tres minutos consecutivos. Enseguida se quita la carga y se observa la recuperación hasta que alcance una variación de 0.025 mm (0.001"). La misma carga se aplica y se quita de la misma manera 6 veces, registrándose todas las lecturas de los micrómetros.
- d).- Se incrementa la carga para dar una deformación de 5.08 mm (0.2"), siguiendo el procedimiento antes descrito.
- e).- Finalmente la carga se incrementa para dar una deformación aproximada de 10.1 mm (0.4") y se sigue el procedimiento anterior.

En todos los casos, el punto final de cada etapa será cuando se tenga una velocidad de deformación y recuperación de 0.025 mm/min., durante tres minutos consecutivos.



ESQUEMA DEL SISTEMA PARA LAS PRUEBAS DE PLACA



Ejecución de una prueba de placa

La deformación de una carga dada en cualquier tiempo se determina por el promedio de la lectura de los micrómetros.

También es necesario recabar datos tales como:

Temperatura durante la prueba, condiciones de tiempo, datos del operador, hora de la prueba, condiciones extraordinarias, etc. A continuación muestro un ejemplo de como llevar a cabo un registro de una prueba.

Estado de tiempo: Limpio y caluroso

Hora de inicio: 11:05 horas

Hora de terminación 16:20 horas

Carga de acomodo 3000 lbs.

Carga de Reacomodo 1500 lbs.

Prueba sobre: Subrasante

Diámetro de Placa: 30 cm.

Gato No. :

Micrometro No.:

Deformación de acomodo 0.018 pulgs.

Carga corregida de reacomodo 1394 lbs.

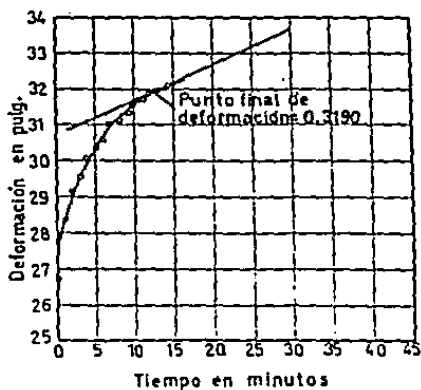
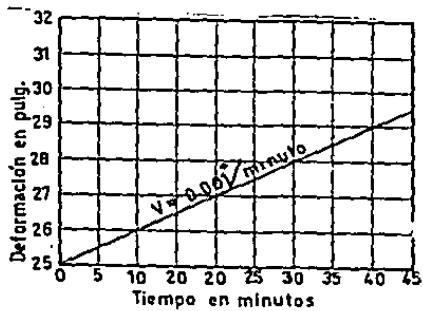
Carga muerta 474 lbs.

Carga registrada (lbs)	No. de aplicaciones y liberación.	Tiempo		Deformaciones leídas			Promedio (Pulg)		
		Hr.	Min.	Micrometro (pulg)					
				1	2	3			
34,000	Primera Aplicación	11	05	0.3090	0.2260		0.2675		
			06	0.3254	0.2410	-	0.2832		
			07	0.3344	0.2480	-	.2912		
			08	0.3390	0.2522	-	.2956		
			09	0.3450	0.2565	-	0.3007		
			10	0.3488	0.2596	-	0.3042		
			11	0.3510	0.2614	-	0.3062		
			12	0.3550	0.2646	-	0.3098		
			13	0.3570	0.2660	-	0.3115		
		Punto final de Deformación = 0.3184 pulg.	14	0.3596	0.2680	-	0.3138		
			15	0.3614	0.2700	-	0.3157		
			16	0.3630	0.2718	-	0.3174		
			17	0.3640	0.2728	-	<u>0.3184</u>		
			18	0.3650	0.2738	-	0.3184		
			19	0.2830	0.2746	-	0.3202		
			0	Primera descarga	20	.2350	.2070	-	.2450
						.2312	.1592	-	.1961
						.2300	.1596	-	.1944
						.2290	.1558	-	.1929
.2282	.1550	-				<u>.1920</u>			
0.2230	0.1540	-				0.1911			
0.1536		-				0.1908			
Pto. final de deformación de rebote = 0.1920									

CALCULO Y DIBUJOS DE LAS RELACIONES CARGA-DEFORMACION

a).- Para cada repetición de carga, se determina la deformación cuando la velocidad es exactamente 0.025 mm (0.001") por minuto. Este es

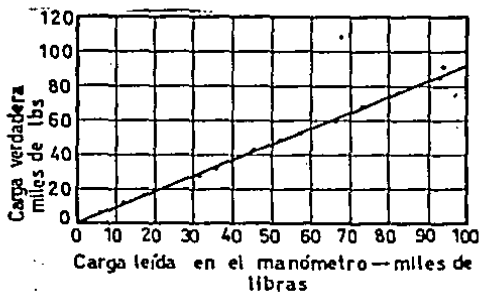
llamado punto final de deformación y puede ser determinado en forma visual, inspeccionando los datos de deformación de cada repetición de carga registrada. -ejemplo anterior-. Si se desea, la deformación en la cual la velocidad de deformación es exactamente 0.025 mm (0.001") por minuto puede obtenerse graficando deformación - tiempo, - en las siguientes gráficas.



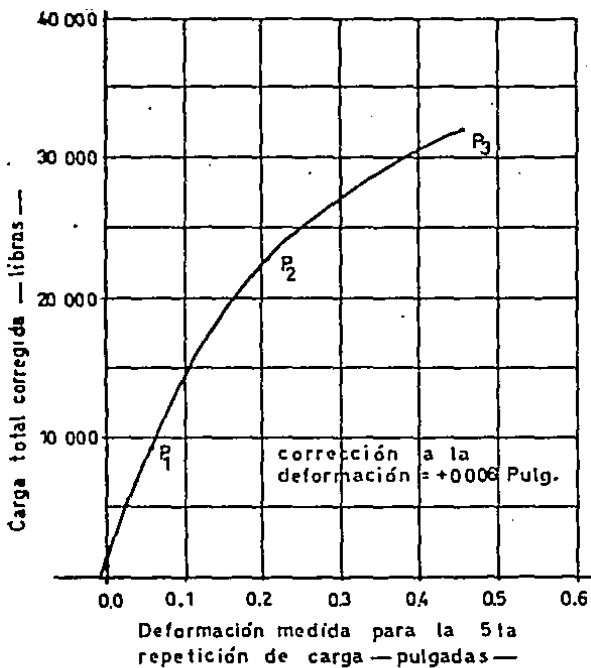
- b).- Las cargas aplicadas leídas en el manómetro, deben ser corregidas por medio de la curva de calibración correspondiente al equipo usado, una vez corregidas se les sumará la carga del equipo, tales como peso de la placa, del gato hidráulico, etc. La suma de estas cargas anteriores, da la carga total corregida, esta carga se tabula con la deformación.

Carga Aplicada				Deformación por aplicación de carga.					
Carga leída (lbs)	Carga corregida (lbs)	Carga Muerta (lbs)	Carga total corregida	1	2	3	4	5	6
10,000	9,300	474	9,774	.0439	.0513	.0534	.0562	.0577	.0590
24,000	22,300	474	22,774	.1583	.1775	.1897	.1974	.2041	.2099
34,000	31,600	474	32,074	.3184	.3685	.4078	.4371	.4562	.4741

- c.- Con los datos de la tabla anterior, se determina el punto cero correcto para las deformaciones medidas, graficando la carga total corregida contra las deformaciones para la quinta repetición de la carga, ver gráfica "corrección de punto final"
- d.- Sumar la corrección al punto cero a cada una de las deformaciones medidas que se indican en la tabla anterior. Entonces tabular para cada repetición de carga, la carga total corregida y las deflexiones corregidas.



CURVA TÍPICA DE LA CALIBRACION DE UN GATO HIDRAULICO



Carga total corregida (lbs)	Deformación corregida + 0.006 Pulg.					
	Deformación corregida para cada aplicación de carga					
	1	2	3	4	5	6
9,774	0.0499	0.0573	0.0594	0.0622	0.0637	0.0650
22,774	0.1643	0.1835	0.1957	0.2034	0.2101	0.2159
32,074	0.3244	0.3745	0.4138	0.4431	0.4622	0.4801

e).- Se grafican las deformaciones corregidas contra el número de repeticiones de cada carga total corregida sobre una -- gráfica semi - logarítmica. Se dibujan líneas rectas, las cuales se proyectan para 10 repeticiones de carga, si algún punto cae fuera de la línea recta, no se toma en cuenta.

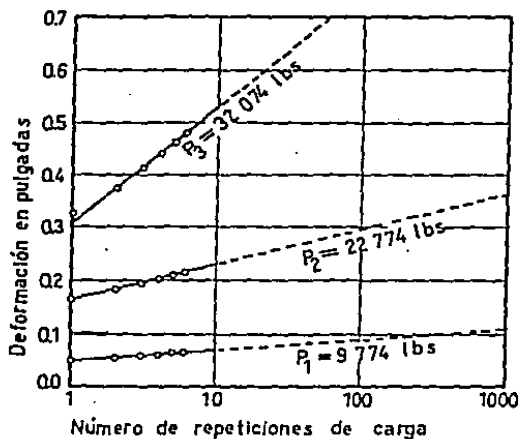
f).- Se seleccionan los datos de la figura de deformaciones, número de repeticiones y se dibuja una curva, carga total corregida contra deformaciones para las repeticiones de carga. De esta gráfica se calcula el valor de soporte del suelo, -- entrando a dicha gráfica con la deformación del proyecto de 12.7 mm (0.5") que en nuestro caso resulta de 32,000 lbs -- (14,515 kg).

Entonces, el valor de soporte se calcula de la siguiente manera:

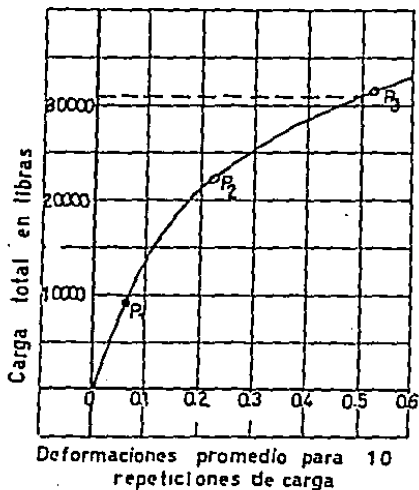
1.- Se calcula el área de la placa mayor,, que en nuestro caso es de 30 pulgadas.

$$A = r^2 = 3.1416 \ 15^2$$

$$A = 706.86 \text{ pulgadas cuadradas.}$$



GRAFICA TÍPICA DE
DEFORMACIONES—NÚMERO DE REPETICIONES



GRAFICA TÍPICA DE
CARGA—DEFORMACION

2.- Se divide la carga entre el área y nos da el valor de soporte.

$$\text{Valor de soporte} = \frac{32,000 \text{ lbs}}{706.86 \text{ pulg}^2}$$

$$\text{Valor de soporte} = 45 \text{ psi} = 3.17 \text{ kg/cm}^2$$

C.- PRUEBA DE HVEEN

GENERALIDADES:

En California E.U.A., Heveen desarrolló un aparato llamado Estabilómetro, que es básicamente una cámara tri-axial que mide las presiones verticales comunicadas con el espécimen y las horizontales transmitidas por éste, sin permitir deformación horizontal.

Esta prueba tiene como fin primordial, encontrar datos para el diseño, utilizando para ello, dos medidas diferentes:

- 1.- Valor de resistencia R, que sirve para prevenir la deformación plástica del suelo bajo la imposición de cargas.
- 2.- La presión de expansión que sirve para determinar el espesor requerido para mantener la compactación dada a un suelo. En suelos granulares no expansivos, el valor de resistencia R es determinado por un procedimiento normal de compactación. Este valor de la densidad es obtenido con los datos de la presión de exudación.

Para determinar el valor de resistencia R, es necesario -
efectuar los siguientes pasos:

- a) Preparación del material
- b) Compactación de los especímenes de prueba
- c) Determinación de la presión de exudación
- d) Determinación de la presión de expansión
- e) Determinación del valor de resistencia R.

a).-Preparación del material,- En esta primera parte se descri-
be el procedimiento para preparar las muestras de material
que se probarán, usando el siguiente equipo.

- 1.- Cuartiador de muestras de 3/4" de ancho.
- 2.- Balanzas de 5,000 y 500 g., con aproximación de 1.0 y -
0.1 gr.
- 3.- Equipo complementario como: rociador de agua, charolas de
mezclado, mallas y formas de registro.

Procedimiento:

- 1.- Se disgrega el material seco y se criba por la malla No. 4
- 2.- En la prueba del estabilómetro se ajusta la granulometría -
del material cuando hay parte que se retiene en la maya de -
3/4" de acuerdo al siguiente criterio: Cuando el 75% o más -
pase la malla citada, se utiliza la fracción de la muestra -
que pasa la malla de 1 pulg.

- 3.- Separar una porción de material para preparar cuatro especímenes, el cual se mezcla con 0.5 a 1/3 del agua necesaria para saturarla, se coloca la muestra en un frasco-cubierto y se deja curando 12 horas, registrando el agua añadida.
- 4.- Para determinar el valor de soporte R, es necesario preparar 4 especímenes con diferentes contenidos de humedad. - El primero se utiliza como guía para preparar los 3 restantes de acuerdo a las siguientes limitaciones: altura = -- 2.5" más o menos 0.1"; presión de exudación entre 100 y -- 800 psi excepto cuando se espera una presión de expansión muy alta.
- 5.- Después del curado de la mezcla, se le agrega más humedad hasta que se estima que la humedad de saturación es alcanzada.
- 6.- Pesarse material suficiente para fabricar un espécimen de - 10.16 cm (4") de diámetro por 6.35 cm (2.5") de altura. - Cubrir el material restante para evitar pérdidas de humedad.

b).- Compactación de especímenes.-

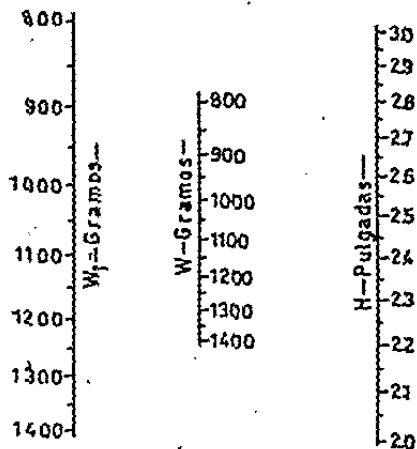
El objeto de estas pruebas, es representar las condiciones de amasado que producen los equipos de compactación en el campo. Este procedimiento fue ideado por F. Hveen.

$$W = \frac{2.5}{H} W_1$$

W_1 = Peso del material ensayado.

W = Peso de material necesario
para un espécimen de 2.5 pulg.

H = Altura del espécimen.



Grafica para determinar el peso del material necesario para fabricar un espécimen de 2.5 pulgadas.

EQUIPO NECESARIO:

- 1.- Compactador mecánico.
- 2.- Accesorios del compactador: molde de acero de 4" de diámetro interior y 4.49" de diámetro exterior, con una altura de 5", extensión del molde y embudo, alimentador, espátula y discos de hule de 4" de diámetro y 1/8" de espesor.

Procedimientos de compactación.

Se compacta el suelo en el molde por medio del compactador-mecánico de la siguiente manera:

- 1.- Se coloca el molde en el dispositivo de sujeción insertando el disco de hule en la base del molde.
- 2.- Se pone en movimiento el compactador, a una presión de 1.05 Kg/cm² (15 psi).
- 3.- Se vierte el material dentro del molde dividiéndolo en 20 - partes iguales de tal forma, de colocar una parte por cada golpe.
- 4.- Realizada la operación anterior se aplican 10 golpes para - asentar y nivelar el material.
- 5.- Colocamos el disco de hule en la parte superior del espécimen y se aplican 100 golpes usando una presión de aire calibrada para obtener una presión en el pistón de 24.5 kg-cm² - (350 lbs/pul²).

- 6.- Si antes de los 100 golpes aparece agua libre alrededor de la base del molde, se para automáticamente el compactado de la muestra y anotamos el número de golpes aplicados.

C).- Determinación de la presión de exudación.

Generalidades:

Esta parte del procedimiento de prueba, se tiene como finalidad determinar los esfuerzos de compresión necesarios para que el agua sea expulsada de la muestra, considerando un estado cercano a la saturación.

Equipo:

- 1.- Máquina de compresión con capacidad mínima de 10,000 Lbs.
- 2.- Dispositivo para medir la presión exudada.
- 3.- Un pistón de 4" de diámetro y 6" de altura
- 4.- Discos perforados de 10.16 cm (4") de diámetro
- 5.- Papel filtro de 4" de diámetro.

Procedimiento:

Se determina la presión de exudación de la siguiente manera:

- 1.- Se quita el molde del compactador, se alisa la superficie

compactada por medio de una barra de extremo plano.

- 2.- Se coloca el disco de bronce sobre la parte superior del especimen compactado en el molde y se coloca sobre él, - una pieza de papel filtro.
- 3.- Se invierte el molde de tal manera que el papel filtro - quede en el fondo, y colocar el molde sobre la placa de contacto del aparato para medir la presión de exudación.
- 4.- Se coloca la placa de contacto con el molde que contiene el especimen, sobre la plataforma de la máquina de compresión, centrando el sistema para obtener una aplicación de cargas uniforme. Se coloca la extensión metálica sobre la parte superior del especimen y se hace bajar a éste hasta la placa de contacto. Enseguida se baja la cabeza de la - máquina de compresión hasta su ajuste con la extensión metálica Encender el switch del dispositivo para medir la - presión de exudación, el foco del centro del indicador deberá encenderse.
- 5.- Se aplica el especimen una carga que se incremente a una velocidad de 910 kg/min, (2,000 lbs/min.), se registra como - presión de exudación la que se tenga cuando se prendan 5 de las 6 luces exteriores del aparato de exudación, sin embargo, si aparece agua libre alrededor de la base del molde y - se prenden 3 luces cuando menos, se registra la carga en el momento y se calcula la presión de exudación. Los focos lu-

... minosos están conectados individualmente por 2 alambres conductores a la parte superior de la muestra, cuando el agua aflora,, se establece el contacto entre las terminales de los alambres a través del agua, encendiéndose los focos.

6.- Tomando como guía los resultados obtenidos en muestra anterior, se preparan 3 más con diferentes contenidos de -- agua, de manera de tener un rango de presiones de exudación entre 7 Kg/cm^2 (100 lbs/pulg^2) y 56 kg/cm^2 (800 lbs/pulg^2). Estos especímenes se someterán luego a la prueba de expansión y del estabilómetro.

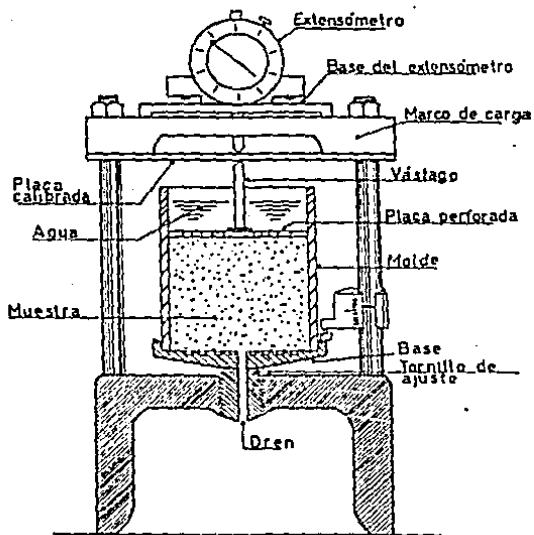
d).- Determinación de la presión de expansión

Generalidades:

Esta parte de la prueba es utilizada para determinar la presión de la expansión que un suelo desarrollará en presencia de agua libre. Esta prueba es llevada a cabo de tal manera, que no ocurra un cambio en la densidad del material. El espesor requerido para contrarrestar la presión de expansión del material -- puede compararse con el determinado por el valor de resistencia R.

Equipo:

1.- Dispositivo para medir la presión de expansión, con sus ac-



ESQUEMA DEL EXPANSIOMETRO DE
HVEEN

coscrios.

- 2.- Extensómetros, con divisiones de 0,0001 pulgs.
- 3.- Llave Allen y papel filtro.

Procedimiento:

- 1.- Dejar reposar al espécimen por lo menos media hora después de haber determinado la presión de exudación.
- 2.- Determinar el peso bruto del espécimen para una densidad calculada.
- 3.- Colocar el extensómetro en la parte superior de la barra - del expansímetro.
- 4.- Colocar el vástago y la placa perforada sobre la superficie de la muestra compactada.
- 5.- Colocar el molde sobre la base giratoria del aparato después de haber colocado un papel filtro sobre la base.
- 6.- Girar la base hacia arriba hasta que la sobrecarga produzca una deflexión de 0.0001 pulg. Si el extensómetro fué calibrado éste debe de marcar cero.
- 7.- Poner 200 cm.³ de agua sobre el espécimen en el molde, y permitir que la expansión se desarrolle de 16 a 20 hrs.
- 8.- Al final del período de saturación leer la deflexión en el

extensómetro.

9.- Determinar la presión de expansión mediante la siguiente ecuación:

$$P = kd$$

Donde:

P = Presión de expansión del suelo en psi.

K = Constante de calibración de la barra de acero

d = Deflexión para 0.0001 pulgadas leídas en el extensómetro.

e).- Determinación del valor de resistencia R.

Generalidades:

Este método provee un medio rápido para determinar la estabilidad o resistencia a la deformación plástica de los materiales compactados por medio del estabilómetro de hveen. Esta prueba es usada en los suelos que se usarán para subrasantes, subbases y bases. El estabilómetro es un tipo de cámara triaxial - consistente en un sujetador de hule, un cilindro metálico con un líquido entre el sujetador y el interior del cilindro. Cuando una carga es aplicada al espécimen, cualquier deformación del espécimen causa una presión horizontal que será transferido al líquido y es registrada en el manómetro.

Equipo:

El equipo necesario para determinar el valor de R es el siguiente:

- 1.- Estabilómetro de Hveen y sus accesorios.
- 2.- Una prensa con capacidad mínima de 10,000 lbs.
- 3.- Un cilindro metálico de 4" de diámetro exterior y 6" de altura.
- 4.- Un pistón de carga de 4" de diámetro interior y 3.5" de altura.

Procedimiento de prueba.

- 1.- El espécimen que fué probado para la presión de expansión se coloca dentro del estabilómetro, y éste se coloca en la máquina de prueba.

El pistón de descarga se coloca sobre el espécimen y se centra el estabilómetro bajo el cabezal de la prensa. Bajar el cabezal de la prensa hasta que toque el pistón de carga pero sin aplicar carga al espécimen, ajustar la bomba del estabilómetro.

- 2.- Anotar la lectura del manómetro del estabilómetro cuando la presión horizontal sea de 80 psi y 160 psi, o sea, una carga de 1000 y 2000 libras respectivamente.

- 3.- La carga vertical se detiene a las 2000 libras y reducida inmediatamente a 1000 libras.
- 4.- Se anota el número de vueltas registradas en el indicador correspondiente.
- 5.- Calcular el valor de R con la siguiente fórmula:

$$R = 100 \frac{100}{\frac{25}{D} \left(\frac{Pv}{Ph} - 1 \right) + 1}$$

Donde:

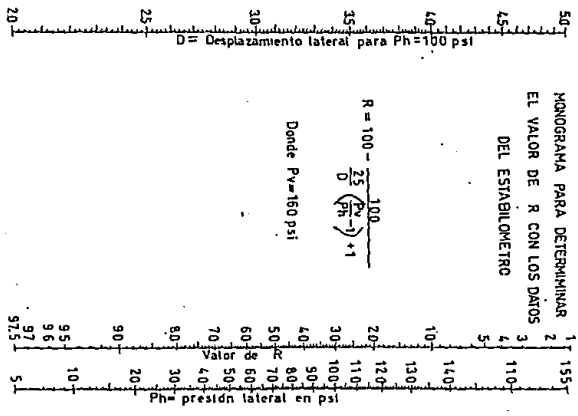
Pv = 160 Psi

D = Número de vueltas

Ph = Presión horizontal correspondiente a un Pv = 160 psi.

- 6.- Con la carta mostrada en la Fig. No. 49 se puede resolver esta ecuación fácilmente.
- 7.- Los especímenes deberán probarse a una altura entre 2.4" y 2.6" si esto no es posible, entonces el valor de R deberá corregirse de acuerdo a la figura No. 49.A.

MONOGRAMA PARA DETERMINAR
EL VALOR DE R CON LOS DATOS
DEL ESTABILOMETRO



$$R = 100 - \frac{25}{D} \left(\frac{Ph}{Ph} - 1 \right) + 1$$

Donde $Ph = 150 \text{ psi}$

50
45
40
35
30
25
20

D = Desplazamiento lateral para Ph=100 psi

MONOGRAMA PARA DETERMINAR
EL VALOR DE R CON LOS DATOS
DEL ESTABILOMETRO

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

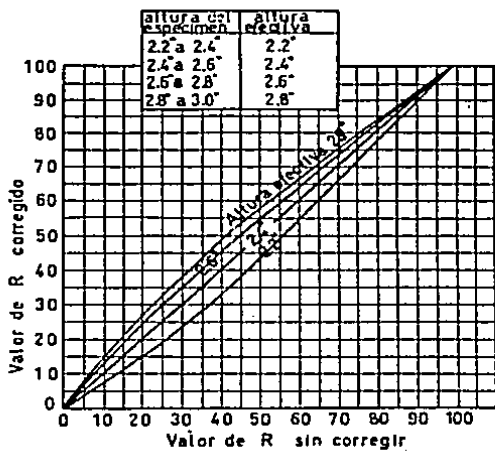
Donde $P_v = 160$ psi

155
110
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
5

Valor de R

Ph= presión lateral en psi

95
96
97
97,5



GRAFICA PARA CORREGIR LOS VALORES
DE R CON RESPECTO A UN ESPECIMEN DE
2.40 PULG.

METODO DEL INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA
U. N. A. M.

Con el objeto de analizar el procedimiento de diseño de pavimentos flexibles, se encomendó al Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M., la revisión de los criterios a través de la construcción de tramos de prueba, tratando de obtener criterios de diseños más racionales y adaptados a las condiciones específicas de México.

A fin de considerar la vida del proyecto del pavimento, se estima necesario recurrir al criterio de tránsito equivalente, utilizando como diferencia el eje sencillo de 8.2 Ton. (18 000 lis), y los coeficientes de equivalencia de la prueba AASHO.

El criterio de tránsito equivalente, es factible aplicarse, gracias a la información estadística con que cuenta la Secretaría de Obras Públicas.

Al mismo tiempo, el Instituto de Ingeniería sugiere mejorar las estimaciones relativas a la carga de transporte y distribución de carga por eje sencillo o tandem por medio de:

- 1.- Mediante pesadores portátiles, ya sea durante los estudios de origen y destino o mediante muestreo al azar.
- 2.- Diferenciación de los vehículos de tres ejes C3 y T2-S1, pues no se hace distinción en las estadísticas actuales, y para fines de diseño del pavimento, aunque --

puedan transportar la misma carga, sus efectos son diferentes.

PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO:

Los pasos para el diseño de espesores del pavimento de un camino, son los siguientes:

1.- Cálculo del tránsito para el período de diseño.

a).- Tomando el volumen promedio anual -VPDA-, la tasa de crecimiento anual y la vida de proyecto.

b).- Calcular el tránsito mezclado en un solo sentido.

$$\frac{VPDA}{2} \times 365 = \text{Tránsito en un solo sentido.}$$

c).- Calcular el número anual de vehículos de cada tipo de acuerdo con los porcentajes en que se clasifique el tránsito.

d).- Transformar a ejes equivalentes.

e).- Calcular la suma parcial (por año) de ejes equivalentes.- L -.

f).- Calcular la suma total de ejes equivalentes para el período de diseño. - TL -.

2.- Determinación de espesores de pavimento.

Para obtener los espesores se efectúan los siguientes pasos:

- a).- Utilizando la gráfica No. 1, en eje horizontal con el valor de TL, levantar una vertical por ese punto hasta cortar la curva que corresponda al valor relativo de soporte -VRS- de proyecto.
- b).- Por ese punto llevar una horizontal hasta cortar el eje vertical, donde se lee el valor del espesor D.

El Instituto de Ingeniería, recomienda la siguiente relación del índice de espesor con las diferentes capas del pavimento:

$$Z = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3 + \dots + a_4 D_4$$

$a_1 D_1$ = Carpeta

$a_2 D_2$ = Base

$a_3 D_3$ = Sub-base

$a_4 D_4$ = Cuerpo de terraplen

CAPITULO III

ASFALTOS

A S F A L T O S

a).- AGLUTINANTES PARA PAVIMENTOS ASFALTICOS.

Los materiales bituminosos para fines de construcción de caminos son líquidos viscosos derivados del petróleo, conocidos como asfaltos. Las consistencias a las temperaturas normales varían desde ligeramente más espesas que el agua, hasta materiales duros y quebradizos que romperán bajo el golpe de un martillo, pero los más duros de ellos fluirán si se someten a una carga prolongada y continua. Estas características plásticas de todos los aglutinantes bituminosos han conducido a algunos escritores a representar todos los pavimentos bituminosos como pavimentos "flexibles".

Independientemente del tipo de pavimento en el cual se utilice, los aglutinantes bituminosos deben encontrarse en una forma líquida cuando se combinen con los agregados. Este estado fluido puede producirse, ya sea utilizando un material líquido o haciendo líquidos los asfaltos más duros mediante calentamientos, disolviéndolos o emulsionándolos con agua.

En pavimentos terminados la acción de los aglutinantes dependen en gran medida de los agregados con los cuales se combinan.

Si los pavimentos son de tipo abierto, que constan enteramente de partículas gruesas contenidas entre sí por los materiales bituminosos, esos aglutinantes por sí mismos, deben resistir

las fuerzas de abrasión y succión producidas por el tránsito de vehículos. La resistencia cohesiva requerida para realizar esta función se obtiene utilizando un aglutinante tenaz y denso. Por otra parte, si los agregados contienen partículas finas,, se desarrolla la cohesión mediante tensión superficial- en las delgadas partículas bituminosas que rodean a estos finos, justamente como las películas de agua desarrollan fuerzas cohesivas en los suelos de grano fino.

Para las mezclas que contienen finos, en consecuencia, - pueden emplearse en forma satisfactoria como aglutinantes, los líquidos bituminosos relativamente ligeros.

FUENTES DE AGLUTINANTES BITUMINOSOS

Todos los aglutinantes bituminosos son hidrocarburos que son combinaciones de hidrógeno y carbono. Los miembros más ligeros y más volátiles de esta familia de hidrocarburos incluyen gas natural o gas manufacturado, gasolina, kerosina, y - aceite diesel. Las combinaciones más pesadas proporcionan aceites lubricantes y materiales de pavimentación. Algunos de los - hidrocarburos empleados para pavimentar se encuentran libres - en la naturaleza, pero la mayoría de ellos son subproductos de la fabricación del gas, combustibles líquidos y lubricantes o gas pobre y coque. Las fuentes principales de material bituminoso para pavimentos se enumeran en los párrafos que siguen.

Asfaltos nativos: Los asfaltos nativos de la Isla Trinidad fuera de la costa noroeste de Venezuela, Bermúdez, Maracaibo y Cuba, reblandecidos con fluidos viscosos de petróleo, se emplearon alguna vez como aglutinantes para las superficies asfálticas. El asfalto fluido de Trinidad se utilizó en los Estados Unidos hacia el año de 1935, en la Avenida de Pensylvania en Washington. Más tarde se utilizó ampliamente el asfalto diluido de Bermúdez. Muy poco de asfalto vino a los Estados Unidos de Maracaibo o Cuba. El asfalto del Lago Trinidad cuando estaba listo para diluirse, contenía aproximadamente el 40% de materia orgánica insoluble, mientras el 40% de materia orgánica e inorgánica insoluble, mientras que el de Bermúdez tenía aproximadamente el 6% de materia insoluble. Con el desarrollo de los asfaltos de petróleo, los asfaltos nativos han perdido importancia. De hecho la AASHO Standard Specifications for Highways Materials, ya no da requerimientos para ellos.

Asfaltos de Roca: Los asfaltos de rocas son depósitos naturales de piedra caliza o de piedra arenisca impregnados de materias bituminosas. En París en el año de 1854, Merian un ingeniero suizo, tendió un material de superficie de la mina Vale Travers en el desfiladero de Neuchatel, Suiza. Consistió en piedra caliza impregnada con betún que se apisonó con el tránsito. En 1876 se pavimentaron algunas secciones de la Av. Pensylvania en Washington con el mismo procedimiento.

Los asfaltos de roca se encuentran en varias partes de los Estados Unidos, especialmente en los Estados de Alabama, Kentucky, Oklajoma, Texas, Utha, y California. Con ellos se han hecho superficies de caminos, que en general, son extremadamente duraderas y estables, pero los altos costos de transporte han limitado las aplicaciones a las zonas generales don de se encuentran.

El porcentaje de betún varía ampliamente entre los diversos depósitos, siendo del 4.5 y 18% en los límites. Fre---cuentemente el asfalto de roca, tal como se extrae de la mina, debe tratarse añadiendo agregado mineral, aglutinante asfáltico y un aceite fluxado.

b).- MATERIALES ASFALTICOS DEL PETROLEO.-

Los asfaltos del petróleo se utilizaron primeramente en los Estados Unidos para el tratamiento de caminos en el año de 1894, cuando se roció petróleo crudo de los pozos de SUMMER LAND sobre los caminos de tierra en el condado de Santa Bárbara, California. La producción de materiales de pavimentación de los petróleos crudos de California y de México fué el siguiente paso. Los materiales asfálticos de pavimentación ahora vienen de los crudos --domésticos-- que se originan en Kentucky --4 Ohio, Michigan Illinois, Continente medio, Costa del Golfo, --Montañas Rocallosas y Campos de California. Las fuentes extran jeras incluyen a México, Venezuela y Colombia. La producción -

de asfaltos del tipo de pavimentación alcanzó un total de --- 12'000,000 de toneladas en el año de 1960.

Debe ser tomado en cuenta que los combustibles para motores y los aceites lubricantes son destilados, y solamente los hidrocarburos pesados remanentes son procesados como mate riales para pavimentación. Las excepciones son los llamados - "ASFALTOS REBAJADOS". Para éstos, los cementos asfálticos son licuados a diferentes grados para rebajarlos con una de las - fracciones más volátiles removidas anteriormente en la secuen cia de producción. Se dan algunas nociones de los usos de cementantes bituminosos.

En años recientes, los productores de asfaltos han redu cido grandemente el número de grados de los materiales para - pavimentos con objeto de bajar costo de producción y distribu ción. Solamente quedan 5 grados de cementos asfálticos de los 9 que había en existencia. Los 4 que se discontinuaron cubrie ron la gama en la nueva graduación, por ejemplo, había un cemento de penetración 50-60 con propiedades intermedias entre los grados 60-70. También han sido reducidos de 6 a 4 las varie dades de asfaltos líquidos en los grupos FL, FM, y FR.

Las varias clases de asfalto de petróleo y sus caracte rísticas son: Los cementos asfálticos (CA) son usados como --- aglutinantes para casi todos los tipos finos de pavimentos --- bituminosos, son hidrocarburos semisólidos remanentes después

que los aceites lubricantes, así como también los combustibles han sido extraídos del petróleo. La consistencia de los cementos asfálticos se dan en términos de penetración, la distancia que una aguja estándar penetra una muestra bajo condiciones conocidas de cargas, tiempo y temperatura. El grado más blando comunmente usado para pavimentos es el de penetración 200-300, el más duro es de 60-70, el grado 85-100 es con mucho el más usado. Todos los cementos asfálticos son tan viscosos que ambos agregado y aglutinante, deben ser calentados antes de ser mezclados para que su colocación sea completa.

ASFALTO DE FRAGUADO LENTO (FL) Son productos líquidos de petróleo que se endurecen muy lentamente. Estos son usados donde se desea casi la misma consistencia de la aglutinante durante el proceso y después que ha transcurrido un período de fraguado. Estos pueden ser un producto remanente de la destilación o pueden ser elaborados combinando cementos asfálticos con aceites fluidificantes de alto punto de ebullición (mayor a 527 grados F). Son más fluidos que los cementos asfálticos pero son más viscosos que los aceites lubricantes de grado muy ligero.

Los asfaltos diluidos de curación media (FM) son cementos asfálticos rebajados o diluidos a una mayor fluidez, mezclados con destilados del tipo del petróleo o el aceite diesel ligero. El rango de ebullición de estos líquidos, es de 325 a

525 grados F, así que se evaporan a una velocidad relativamente baja. Los productos de curación media tienen buenas propiedades humectantes que permiten el revestimiento satisfactorio de los agregados en forma de polvo de graduación fina.

Se emplean cuando se desea una mayor fluidez en el momento del tratamiento más bien que después que el camino terminado ha sido curado durante un tiempo.

Los asfaltos diluidos de "curación rápida". (FR) son cementos asfálticos diluidos con un destilado de petróleo, tal como la gasolina. El rango de bullición de estos asfaltos es de 250 a 400 grados F, por lo tanto, se evaporan rápidamente. Los productos de curación rápida se emplean cuando se desea un cambio rápido del estado líquido de aplicación al cemento-asfáltico original.

Las consistencias, temperaturas de aplicación, porcentajes de disolventes y penetraciones del cemento asfáltico original son casi similares a las designaciones comparables de la serie MC. La penetración del residuo después de la destilación se aproxima a la del asfalto original.

Los asfaltos emulsionados, son mezclas en las cuales se dispersan glóbulos diminutos de asfalto en agua o en solución acuosa por medio de un emulcinador. Las emulsiones ofrecen el asfalto en forma líquida para su aplicación o mezcla a temperatura ambiente. Cuando se separan y el agua se evapora, el as-

falto de pavimentación queda como residuo. Los productos con tiempo de separación rápida, mediana y lenta forman emulsiones adecuadas para una gran variedad de fines, y en muchas situaciones son adecuadas tanto las emulsiones como las disoluciones.

Hasta cerca de 1957, las emulsiones eran todas aniónicas, ésto es, que la superficie de las partículas emulsionadas poseen cargas negativas. Estas emulsiones son muy efectivas para cubrir agregados electropositivos tales como piedra caliza. Por otro lado, tienen a separarse de los agregados -altos en sílice, los cuales tienen fuerte carga superficial -electronegativa.

Han sido ahora desarrolladas emulsiones catióni ----cas en las cuales las partículas son portadoras de cargas positiva. Estas son muy efectivas con agregados altamente silfcicos, pero tienden a separarse de los alcalinos que portan -cargas superficiales positivas. En suma, muestran mejor adherencia a los agregados mojados debido a que desplazan positivamente el agua de las superficies de éstas, se enlazan rápidamente y son menos afectados por la humedad y bajas temperaturas. Por ello, la construcción puede ser llevada a cabo -en temporadas de lluvias.

Para ciertas aplicaciones las emulsiones invertidas -son más satisfactorias. En éstas, el asfalto es la fase con-

tínua, con glóbulos diminutos de agua suspendidos en él.

Los asfaltos aereados u oxidados cuando se hace pasar aire a través de los materiales asfálticos calentados. Tienen punto de reblandecimiento superior a los asfaltos normalmente refinados de penetración comparable, los que los hace adecuados para revestimiento de techos y otras aplicaciones-similares. Su uso en carreteras está limitado en gran parte a la impermeabilización de estructuras y al relleno de juntas de los pavimentos de concreto.

TABLAS BASADAS EN LAS ESPECIFICACIONES DE LA SCT

A) Cementos asfálticos

CARACTERÍSTICAS	CEMENTO ASFÁLTICO			
	Núm. 3	Núm. 4	Núm. 7	Núm. 8
Penetración, 100 g, 5 s, 25°C, grados.....	180-230	100-100	80-70	40-50
Viscosidad Saybolt-Furuli:				
A 135°C, s, mínimo.....	60	85	100	120
Punto de inflamación (copp abierta de Cleveland), °C mínimo.....	230	232	232	232
Punto de reblandecimiento, °C.....	37-43	43-52	48-56	52-60
Ductilidad, 25°C, cm, mínimo.....	60	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo.....	99.5	99.5	99.5	99.5
Prueba de la película delgada, 50 cm ² , 2 h, 165°C:				
Penetración retenida, por ciento, mínimo.....	40	50	54	58
Pérdida por calentamiento, por ciento, máximo.....	1.4	1.0	0.8	0.8

B) Asfaltos rebajados de fraguado rápido

CARACTERÍSTICAS	GRADO				
	FR-0	FR-1	FR-2	FR-3	FR-4
PRUEBAS AL MATERIAL ASFÁLTICO					
Punto de inflamación (copp abierta de Tag), °C mínimo.....			27	27	27
Viscosidad Saybolt-Furuli:					
A 25°C, segundos.....	75-150				
A 50°C, segundos.....		75-150			
A 80°C, segundos.....			100-230	250-500	
A 82°C, segundos.....					125-250
Destilación: Por ciento del total destilado a 360°C					
Hasta 150°C, mínimo.....	15	10			
Hasta 225°C, mínimo.....	55	50	40	25	5
Hasta 260°C, mínimo.....	75	70	65	55	40
Hasta 315°C, mínimo.....	90	85	80	70	60
Residuo de la destilación a 360°C. Por ciento del volumen total por diferencia, mínimo.....	20	10	07	03	02
Agua por destilación, por ciento, máximo.....	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION					
Penetración, grados.....	80-120	80-120	80-120	80-120	80-120
Dureidad en centímetros, mínimo.....	100	100	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo.....	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

C) Asfaltos rebajados de fraguado medio

CARACTERISTICAS	G R A D O				
	FM-0	FM-1	FM-2	FM-3	FM-4
PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO					
Punto de inflamación (copa abierta de Tag), °C mínimo..	38	38	66	66	66
Viscosidad Saybolt-Furell:					
A 25°C, segundos.....	75-120				
A 50°C, segundos.....		75-150			
A 60°C, segundos.....			100-300	250-500	
A 82°C, segundos.....					125-250
Destilación: Por ciento del total destilado a 300°C					
Hasta 225°C, máximo.....	25	20	10	5	0
Hasta 260°C.....	40-70	25-65	15-55	5-40	30 M.A.
Hasta 315°C.....	75-93	70-90	60-87	55-85	60-80
Residuo de la destilación a 300°C. Por ciento del volumen total por diferencia, mínimo.....	60	60	67	73	78
Agua por destilación, por ciento, máximo.....	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION					
Penetración, grados.....	120-300	120-300	120-300	120-300	120-300
Ductilidad en centímetros, mínimo.....	100	100	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, máximo.....	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

D) Asfaltos rebajados de fraguado lento

CARACTERISTICAS	G R A D O				
	FL-0	FL-1	FL-2	FL-3	FL-4
PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO					
Punto de inflamación (copa abierta de Cleveland), °C mínimo.....	66	66	80	103	107
Viscosidad Saybolt-Furell:					
A 25°C, segundos.....	75-150				
A 50°C, segundos.....		75-160			
A 60°C, segundos.....			100-300	250-500	
A 82°C, segundos.....					125-250
Destilación: Destilado total a 300°C, por ciento en volumen.					
Agua por destilación, por ciento, máximo.....	15-40	10-30	5-25	2-15	10 M.A.
Residuo asfáltico de 100 grados de penetración, por ciento, mínimo.....	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	40	50	60	70	75
PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION					
Flotación en el residuo de la destilación, a 25°C, segundos.....	15-100	20-100	25-100	50-125	60-150
Ductilidad del residuo asfáltico de 100 grados de penetración, 25°C, cm., mínimo.....	100	100	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, máximo.....	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

E) Emulsiones asfálticas aniónicas

CARACTERÍSTICAS	GR A D O				
	Emulsión rápida		Emulsión media		Emulsión lenta
	RR-1	RR-2	RM-2	RL-1	RL-2
PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO					
Viscosidad Saybolt-Furul a 25°C, segundos.....	30-100		100 Min.	30-100	20-100
Viscosidad Saybolt-Furul a 50°C, segundos.....		75-100			
Residuo de la destilación, por ciento en peso, mínimo....	57	62	62	57	57
Asentamiento en 5 días, diferencia en por ciento, máximo..	3	3	3	2	3
Demulsibilidad:					
35 ml de 0.02N CaCl ₂ , por ciento, mínimo.....	60	50			
30 ml de 0.10N CaCl ₂ , por ciento, máximo.....			30		
Retenido en la malla Núm. 20, por ciento, máximo.....	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Miscibilidad con cemento Portland, por ciento, máximo..				2.0	2.0
PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION					
Petróleo, 25°C, 100 g. 5 segundos, grados.....	100-200	100-200	100-200	100-200	40-80
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo..	97.5	97.5	97.5	97.5	97.5
Densidad, 25°C, cm. mínimo.....	40	40	40	40	40

Nota: La viscosidad de las emulsiones no debe aumentar más de treinta por ciento (30%) al bajar su temperatura de veinte grados centígrados (20°C) a diez grados centígrados (10°C), ni bajar más de treinta por ciento (30%) al subir su temperatura de veinte grados centígrados (20°C) a cuarenta grados centígrados (40°C).

F) Emulsiones asfálticas catiónicas

CARACTERÍSTICAS	GR A D O					
	Emulsión rápida		Emulsión media		Emulsión lenta	
	RR-2K	RR-3K	RM-2K	RM-3K	RL-2K	RL-3K
PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO						
Viscosidad Saybolt-Furul, 25°C, segundos.....					20-100	20-100
Viscosidad Saybolt-Furul, 50°C, segundos.....	20-100	100-400	50-500	50-500		
Residuo de la destilación, por ciento en peso, mínimo.....	60	65	60	65	57	57
Asentamiento en 5 días, diferencia en por ciento, máximo.....	5	5	5	5	5	5
Retenido en la malla Núm. 20, por ciento, máximo.....	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Cubrimiento del agregado (en condiciones de trabajo). Prueba de resistencia al agua:						
Agregado seco, por ciento de cubrimiento, mínimo.....			80	80		
Agregado húmedo, por ciento de cubrimiento, mínimo.....			60	60		
Miscibilidad con cemento Portland, por ciento, máximo.....					2	2
Carga de la partícula.....	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva		
Disolvente en volumen, por ciento, máximo.....	3	3	20	12	6.7	6.7

C A P I T U L O I V

COLOCACION DEL CONCRETO ASFALTICO Y SU COMPACTACION

COLOCACION DEL CONCRETO ASFALTICO
Y SU COMPACTACION

COLOCACION DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFALTICO:

Las mezclas calientes de concreto asfáltico, se transportan en camiones generalmente. Si las distancias o el clima es frío pueden utilizarse lonas para cubrir el material y así evitar pérdida de calor. Algunas veces se utilizan camiones con carrrocerías aisladas. Por normas la mayoría de las dependencias o compañías prohíben colocar concreto asfáltico cuando el tiempo es húmedo, lluvioso o frío, ya que esto altera su resistencia, así como su adherencia.

Los métodos para colocar el pavimento asfáltico han variado a medida que ha avanzado la tecnología, ya que esto trae nuevos equipos. Originalmente la mezcla caliente se volteaba sobre madera o sobre plataformas metálicas y a partir de las cuales se movía y se le alimentaba manualmente por medio de palas, la nivelación de la mezcla se hacía con "rastrilladores" hábiles, muchos de los cuales poseían una habilidad casi increíble para producir una superficie rectificada y lisa. Algunas compañías permiten voltear la mezcla sobre capa de asiento preparada. Con el tiempo fué común depositar la mezcla en una tolva móvil llamada "caja repartidora" que se impulsaba a lo largo de la base por medio de un camión a medida que era descargada.

En 1928, después de varios años de desarrollo progresivo, se comenzó la utilización de distribuidoras mecánicas que operan sobre la superficie ya tratada. Estas máquinas eran muy similares a las utilizadas para los pavimentos de concreto de cemento Portland. Con ésto, la necesidad de paleadores y rastrilladores desapareció, excepto en la colocación de pequeñas arenas, irregulares u onduladas.

En los años recientes, se han fabricado máquinas terminadoras autoimpulsadas que operan directamente sobre la base u otras capas inferiores. Se producen ahorros importantes, su utilización para colocar concreto asfáltico actualmente es la que más es utilizada. Estas máquinas consisten esencialmente con una tolva dentro de la cual el camión voltea el material y una barra expulsora para distribuir la mezcla a espesores uniformes. Algunas máquinas cuentan con barra apisonadora o vibradora que parcialmente consolida el pavimento.

Las máquinas se montan sobre largas deslizadoras o rieles, a fin de que el pavimento terminado no presente estrechas ondulaciones o saltos en la superficie sobre la cual la máquina corre. El ajuste de los dispositivos permite un rápido cambio de altura del material colocado, lo cual permite tender rápidamente capas de altura variable, frecuentemente requeridas para nivelar las superficies anteriores.

Riego de impregnación y riego de adherencia o liga.

Se aplica la cantidad necesaria de asfalto líquido para -

el riego de impregnación, la cual será aplicada de acuerdo a las condiciones de tráfico y la penetración efectiva.

Una aplicación excesiva de asfalto líquido puede ser un desperdicio, así también puede causar serios problemas en la superficie de rodamiento, ya que ésta presentará inestabilidad-llorado de pavimento y muy resbalosa. Las películas delgadas de asfalto son adherentes, pero cuando son gruesas éstas se transforman en lubricantes.

El riego de impregnación protege a la base de los agentes atmosféricos, disminuye al máximo la evaporación del material. En los casos en que no se da el riego de impregnación antes de pavimentar, existe la posibilidad de que al colocar el material caliente, haya un secado rápido de la parte superior de la base, la que posteriormente producirá reblandecimientos.

El riego de adherencia a la capa intermedia o riego de liga, se utiliza con el propósito de aglutinar una superficie con otra. Los asfaltos líquido en sus grados No. 1 y 2 son los utilizados para F M 2 y se usan para riego de adherencia entre las capas del pavimento.

Para su aplicación puede aplicarse con esparcidor de mano o mediante camiones distribuidores.

Tendido.

Se deberá de establecer el volumen de material tendido, -

el cual el ingeniero checará el tendido de acuerdo a los requerimientos de la zona.

En los casos en los que no se tiene un coeficiente determinado, el ingeniero podrá tomar como promedio el valor de 12 lbs/pie² y por pulgada de espesor, y así poder calcular el volumen de material tendido.

La temperatura de tendido será aquella con la cual se tenga mayor facilidad de trabajabilidad de acuerdo a las especificaciones de la SCT.

El uso de motoconformadoras solamente se permite en áreas inaccesibles a las máquinas pavimentadoras o en los casos que se requiera trabajo de nivelación, y en los casos que se tenga que corregir irregularidades en las bases que requieran la colocación de una capa de concreto asfáltico.

A).- PREPARACION PARA LA COLOCACION DEL CONCRETO ASFALTICO.

Inmediatamente antes de colocar la mezcla asfáltica, la superficie existente donde vaya a ser aplicada, se limpiará y retirará todo material suelo o perjudicial, ésto mediante una barredora mecánica y completando esta operación con barrido a mano si fuera necesario.

La colocación del material deberá empezarse en en él, o los puntos más alejados de la planta mezcladora, y continuará en dirección a esta última, a menos que el proyectista dispon-

ga de alguna otra cosa. Las operaciones de transporte sobre ma
terial recién colocado no serán permitidas hasta que éste no -
haya sido compactado completamente en la forma especificada.

B).- LA DISTRIBUCION Y TERMINACION A MAQUINA

La colocación y compactación de la mezcla asfáltica deber
rá llevarse a cabo sobre secciones cuyas longitudes no excedan
de un kilómetro. La mezcla asfáltica será distribuida, conforma
da y terminada con la "finisher", la cual será accionada a la -
velocidad recomendada por el fabricante. Después de haberse com
compactado al ancho de la primera franja, se colocará el segundo-
ancho que será terminado y compactado en la misma forma que se-
estableció para el primero. En los casos en que la máquina deba
efectuar en dos capas la distribución del material, por orde--
narse así en el proyecto, el procedimiento antes mencionado pa-
ra los distintos anchos de trabajo, se aplicará a las dos capas
colocadas separadamente.

Cuando dicha colocación se ejecute en dos capas, la segund
da de estas capas se aplicará tan pronto sea posible, después -
que la primera haya sido terminada, compactada y enfiada.

C).- COMPACTACION DE LA SUPERFICIE TERMINADA.

Después de la colocación de todas las capas en su ancho to
tal, la carpeta de desgaste deberá ser compactada nuevamente, --
empleando primero el rodillo neumático y terminado con el rodi--

llo de ruedas lisas. La compactación será longitudinal y comenzará en los bordes exteriores de la calzada, hacia el centro del camino, excepto en curvas sobreelevadas, donde la compactación deberá progresar desde el borde inferior hacia el superior de la curva. Estas operaciones de compactación deberán continuar hasta que la superficie trabajada resulte de textura y a grado de compactación uniforme, y coincida con la pendiente y perfil tipo de obra. Bajo ninguna circunstancia se compactará primero en el centro de la calzada.

C A P I T U L O V

PREPARACION DE MEZCLAS ASFALTICAS

PREPARACION DE MEZCLAS ASFALTICAS

GENERALIDADES:

Los pavimentos asfálticos son combinaciones de materiales asfálticos, de varios espesores y tipos.

Las cargas de las ruedas para las que un pavimento se proyecta determina el espesor del mismo y el tipo de construcción que debe emplearse.

La mayor parte de los pavimentos asfálticos tendidos -- se hacen en caliente. Sin embargo, algunas agencias utilizan o permiten la utilización de mezclas tendidas en frío, mezclas asfálticas duras, y algunas mezclas con nombres patentados.

A.- MEZCLAS ELABORADAS EN PLANTA

El término "mezcla en planta" podría designarse a cualquier tratamiento asfáltico en el cual los materiales han sido mezclados en una planta, más que en el lugar de empleo. -- Sin embargo, como el término es muy usado queda excluido: el concreto asfáltico, el asfalto laminado y las mezclas de graduación abierta, y "mezclas en planta denota los productos -- más baratos y menos rígidamente controlados.

El mezclado en planta de agregados locales con aglome-

rante empezó en la década de los 29s, poco después que la mezcla en lugar. Al mezclar los materiales en planta y tendiéndolos tan pronto eran entregados, fueron evitados muchos contratiempos que las inclemencias del tiempo causaban al mezclado en el lugar de aplicación. En cierto modo se llevó un control más estricto de su granulometría, peso así como su mezclado.

Las antiguas plantas consistían de un molino de arcilla semiportátil, balanzas accesorias y elevadores, casilleros de almacenamiento y tanques. Muy pronto se tomó en cuenta el secado de los agregados. Pronto el alcance de los aglomerantes fue extendido para incluir graduaciones más viscosas, las cuales solamente pudieran mezclarse con agregados calientes. En la actualidad el equipo utilizado para la mezcla en planta es el que se encuentra en las plantas de concreto asfáltico, al igual que el control de calidad y graduación del agregado.

A.1.- EN CALIENTE.-

Entre los tipos de pavimento asfáltico que se fabrican en planta, tenemos el concreto asfáltico en caliente.

El concreto asfáltico mezclado y colocado en caliente es el pavimento asfáltico de mayor calidad, y se compone de gravas y arenas graduados y unidos, formando una masa sólida.

Este tipo de mezcla para pavimentación se fabrica en una planta mezcladora central donde se calienta el asfalto y los áridos a una temperatura aproximada de 150°C, y se dosifica, mezcla y coloca en obras mientras está aún caliente. Las instalaciones para obra en caliente están construidas en tal forma que después que los áridos están calientes y secos, se separan en diversos tamaños y se recombinan de acuerdo con un proyecto científico, a continuación de lo cual, se mezcla el asfalto. Las mezclas terminadas se transportan en camiones a la extendidora mecánica, que las coloca en capas uniformes, después de este proceso se compactan con un rodillo mientras están calientes. Este tipo de pavimentos tiene muchos usos, pero se emplea principalmente para autopistas y campos de aviación.

Aunque la mayoría de las instalaciones para la elaboración de mezclas en caliente pueden transportarse de un lugar a otro, el costo de transporte es bastante alto y debe tomarse en consideración cuando se elija el tipo de pavimento. Las obras situadas en regiones donde sería preciso transportar una instalación, deben requerir la colocación de 8000 toneladas de hormigón asfáltico o más, si no es así, el costo del transporte influirá mucho en el costo del pavimento. Muchas regiones densamente pobladas disponen de instalaciones para la elaboración de mezclas calientes, que pueden fabricar concreto asfáltico y en caliente para obras grandes o pequeñas -

con igual grado de economía.

A.2.- EN FRIO.-

El concreto asfáltico y colado en frío es un tipo de pavimento ligeramente inferior al mezclado y colocado en caliente, y se usa por lo general en reparaciones o para obras de pequeño volumen en las que no está justificado el transporte.

El concreto asfáltico en frío es una combinación de gravas, arenas y materiales asfálticos líquidos (cutback) que se mezclan y colocan a la temperatura ambiente. La fabricación y puesta en obra se limita generalmente a los meses cálidos, --- cuando es necesario hacer este tipo de mezclas durante el invierno, puede ser preciso cierto grado de calentamiento de los áridos y del material asfáltico. En términos generales en frío se hacen por tres métodos diferentes: instalación fija, móvil y mezclas sobre el camino. La instalación fija para la elaboración de mezclas en caliente es la más adecuada para fabricar un concreto asfáltico en frío cuando se necesita cierto calentamiento de los materiales para trabajo en tiempos fríos. El mezclado en planta móvil se hace con gravas y arenas a temperatura normal. El material asfáltico líquido que debe añadirse a la mezcla se calienta normalmente a tal temperatura que adquiere la viscosidad necesaria para un mezclado homogéneo. Existen diversos tipos de mezcladoras móviles para este tipo particular de trabajo. Algunas pulverizan y mezclan las gravas - arenas - sobre el camino, y otras requieren que las gravas - arenas es-

tén pulverizadas y apiladas adecuadamente con anterioridad . En cada uno de los métodos de mezcla, al material asfáltico se añaden la grava por pulverización en la cámara de mezcla de la planta mezcladora.

g.- MEZCLAS ELABORADAS EN EL LUGAR.-

En 1915, J.S. Bright, ingeniero del Condado de San Bernardino, Calif., mezcló petróleo ligero y arena del desierto usando arados y discos, usando varios galones de petróleo por yarda cuadrada, la cual produjo una superficie de varias pulgadas de grosor, ésta dió excelente servicio, sin embargo, el asfalto laminado y el concreto asfáltico eran los únicos tipos de mezclas asfálticas de graduación densa de uso común hasta cercca de 1926. Debido a su alto costo, su aplicación estaba limitada a las calles de las ciudades o a los caminos rurales de gran movimiento. Sin embargo, ninguno de ellos llenaba los requisitos, de una superficie barata, sin polvo y relativamente permanente para muchos kilómetros de camino que llevaran volúmenes considerados de tránsito.

La mezcla en el lugar fué el primer paso para llenar los requisitos. Durante el período de 1926 - 1929, su éxito, fué fenomenal. Los métodos de mezcla en el lugar, todavía se utilizan muy ampliamente, en especial en los caminos estatales y municipales de menor movimiento, y para tratar el material de bacheo para operaciones de mantenimiento. Son también utilizados

para acabados de pavimentos ásperos que deben ser levantados y retenidos.

Cualquier operación que utilice asfalto líquido o alquitranes líquidos con agregados en la forma de una mezcla líquida íntima, se le denomina mezcla en el lugar o en el camíno.

Los agregados primeramente utilizados en proyectos de mezcla en el lugar fueron de grava densa graduada o finamente triturada ya en su lugar en la superficie del camino. Los 5.08 ó 7.63 cm. superiores de esta superficie se aflojaban y pulverizaban, utilizando escarificadores y rastras de diente--después de lo cual se conformaban hacia atrás y hacia adelante a través del camino para producir la uniformidad. A continuación se aplicaba aproximadamente de 6.8 a 11.3 lbs. de aceite asfáltico por metro cuadrado (a 38° C o más caliente) y cada aplicación se revolvía mediante rastras de dientes de disco. Después de todo, el aceite que había sido añadido, la mezcla se trataba mediante conformadoras motorizadas de hoja. Esta operación comprendía conformar la mezcla hacia atrás y hacia adelante a través del camino hasta que se volvía homogénea y de color uniforme. La motoconformadora viajaba aproximadamente a una velocidad de 6.4 km/hr. de tal modo que el material rueda. Después del tratamiento, la mezcla se repartía a espesor uniforme y se le daba la sección transversal por medio de una conformadora de hoja manejada por un operario particu--

larmente hábil denominado "tendedor". Algunas veces se apisonaba la superficie completa, y algunas veces solo los bordes, pero en algunos casos el apisonado se dejaba a los vehículos que utilizaban el camino. Era una práctica común -- aplicar un revestimiento a la superficie terminada para evitar la entrada de humedad superficial. Frecuentemente esta operación se posponía hasta que hubiera transcurrido un período de curación de varias semanas después de la aplica-- ción de las capas.

Se han desarrollado muchas variaciones del método original de mezcla en el lugar. Una de las más importantes era -- aplicar agregado mineral de canteras de gravas locales, en lugar de utilizar el material aflojado de la superficie existente en el camino. En esta forma era más fácil controlar la calidad y la granulación, particularmente el porcentaje de polvo. Además se aseguraba una cantidad constante de agregado mineral por unidad de longitud del camino, lo que originaba un contenido de aceite más uniforme y menos lugares "alzados" o "rebajados" en el camino terminado.

El tratamiento de mezcla en el lugar, actualmente se realiza por medio de una sola máquina que recoge el agregado -- del camino y añade y mezcla el aceite en la cantidad especificada. La repartición de la mezcla tratada conunmente se hace con conformadores de lámina.

Tanto los agregados de graduación densa como los de mezcla abierta han sido satisfactoriamente mezclados en el camino. Los materiales con alto contenido de finos y sin finos, con o sin agregado grueso, también han sido empleados.

Los aceites para la mezcla en el camino deben permanecer fluidos a temperaturas normales hasta completar la mezcla y la colocación.

Las mezclas en los caminos, tal como otros pavimentos, deben colocarse sobre una plantilla buena y sólida de camino y de una anchura mayor que el pavimento mismo. No pueden obtenerse resultados satisfactorios sobre subgrados deformables o sobre los que se vuelven inestables, cuando la evaporación de la humedad capilar es evitada por la capa de asfalto impermeable a la humedad. Además la plantilla del camino debe estar perfectamente nivelada para evitar ondulaciones en la superficie terminada, así como también para cuidar el espesor de la carpeta. El mantenimiento de un espesor superficial constante es muy difícil en las curvas superelevadas. Indudablemente los mecanismos electrónicos recientemente desarrollados para mantener la pendiente transversal constante serán de gran ayuda en estas operaciones.

Cuando la operación se realiza con conformadoras mecánicas, debe de tenerse cuidado con la base. Es común después del mezclado parcial, aplicar primeramente un suelo o piso de aproxima-

madamente 1.27 a 2.54 cm. de espesor, sobre el cual se mezcla el material restante. En lugares con mucha precipitación pluviométrica, el tratamiento mediante mezcla en el lugar se -- realiza mediante una seria amenaza. La mezcla bajo la lluvia humedece pronto los materiales repartidos y por lo tan si comienza a llover, la mezcla debe aplilarse rápidamente. Todas las operaciones se suspenden hasta que los materiales se secan nuevamente. Esto se acelera mediante la repartición y la conformación de la mezcla bajo un buen Sol. Si se tienden las mezclas húmedas, provablemente se harán inestables y esto se controla comunmente mediante una especificación que establece que no puede comenzarse ningún tendido si el contenido de humedad excede de algún valor máximo tal como 1 ó 1.5% en peso.

C).- MEZCLAS DE GRADUACION ABIERTA.-

El concreto asfáltico de graduación abierta y la mezcla - en planta difieren de los de graduación densa en que contienen pocos agregados finos o polvo. Es común estipular que los agregados para las mezclas abiertas sean más duros que los de graduación densa, puesto que las partículas gruesas no son -- protegidos por un aglomerante de partículas finas.

ESPECIFICACION PARA GRADUACION DE CONCRETO DE GRADUACION
ABIERTA DE LA DIVISION DE CAMINOS DE CALIFORNIA.

Abertura de malla para agregado	% por peso que pasa 3/8 pulg. máx.	las mallas No. 3 Máx.
1/2 - plg.	100	
3/8- plg	90-100	100
No. 3	-----	85-100
No. 4	30-50	-----
No. 8	15-32	15-32
No. 16	0-15	0-15
No. 200	0-3	0-3

Para la estabilidad, las mezclas de graduación abierta - dependen de la fricción y trabazón mecánica de los agregados y la cohesión de un aglomerado pesado, como lo hacen los pavimentos macadam de penetración. Se diferencia que los agregados y aglomerantes son combinados por mezcla más que por métodos de penetración, y son a menudo tendidos como una base, mientras que los macadam son construídos por una serie de operaciones llevadas a cabo sobre la carretera.

Las mezclas abiertas pueden ser usadas donde se desea que la humedad suba de la base o subbase, o donde no exista la arena u otro agregado fino barato. Por otro lado, con un sellado apropiado, la superficie puede ser hecha impermeable y la

la base protegida de la humedad superficial.

El contenido de asfalto de las mezclas de graduación abierta, generalmente es fijado tan alto como sea posible, poco después de haberlo drenado durante el manejo y colocación. Esto no afecta la estabilidad, ya que el contacto punto a punto entre las superficies del agregado es establecido durante la compactación.

La división de caminos de California y otras dependencias, han utilizado una capa de 3/4 de plg. de concreto asfáltico de mezcla abierta como un refuerzo sobre viejos pavimentos asfálticos o de concreto. Esta mezcla a veces llamada "popcorn" --- (maíz floreado), deja una superficie antiderrapante y relativamente silenciosa. Siendo porosa, con el tiempo absorbe agua de las lluvias ligeras, la cual puede causar resbalamiento en superficies de graduación densa. La experiencia a la fecha indica que, comparadas con mezclas densas, estas mezclas abiertas resisten el reflejo de grietas de pavimento viejo hacia la superficie.

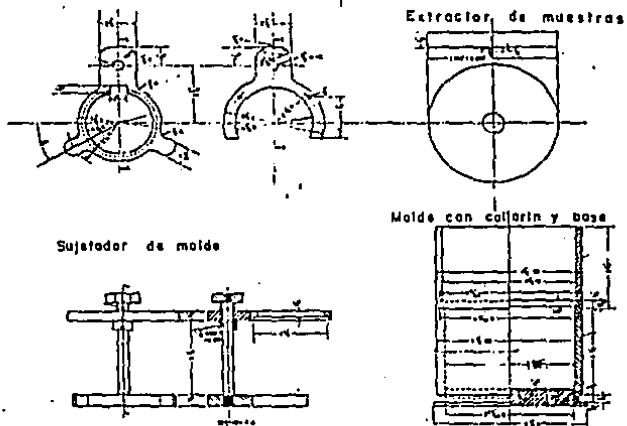
METODO MARSHALL

OBJETIVO:

Este método sirve para medir la resistencia del flujo plástico en especímenes cilíndricos de mezclas asfálticas aplicando carga en su superficie lateral mediante un aparato Marshall.

APARATOS:

- Molde para espécimen.- Consiste en un molde cilíndrico de 4" de diámetro por 3" de alto. Una placa de base y un collarín, se recomienda contar con tres moldes.
- Extractor de espécimen.- Se utiliza el mismo molde con el espécimen tal sólo, se requiere invertirlo y aplicarle una carga con el pisón, con lo cual, el espécimen se deslizará y quedará dentro del collarín que es de un diámetro mayor, quedando el espécimen suelto.
- Pisón de compactación.- El pisón debe tener una cara plana y de forma circular para el apisonamiento, así como un peso -- deslizante de 10 lbs. con una caída de 13 pulgadas.
- Pedestal de compactación.- Consiste en un banco de madera de 8" por 8" de lado y 18" de altura, con una placa metálica sobrepuesta en su parte superior de 12" por 12" por 1" de espesor. La madera debe tener cierta resistencia, pudiendo ser de



MOLDE PARA COMPACTACION Y SUJETADOR DEL MOLDE

pino u otra cuyo peso seco vaya de 42 a 48 lbs. por pié³.
El pedestal debe ser asegurado a un piso de concreto.

La placa metálica debe estar sujeta al pedestal y todo el conjunto debe estar nivelado.

- Sujetador del molde.- El sujetador consiste en una base semicircular y un anillo circular en la parte superior para detener el molde en su lugar durante la compactación del espécimen. La sección superior del sujetador debe ajustarse al collarín y debe adherirse a la base por una articulación de un lado y un tensor del otro. Se requieren de dos perforaciones para fijar al sujetador en la placa del pedestal.- Se debe cuidar que todo el conjunto quede centrado con respecto del pedestal.
- Molde de prueba.- El molde está formado en su parte superior como en su parte inferior de un segmento de cilindro, teniendo un radio interior de curvatura de 2" maquinado con precisión. La parte inferior debe estar montada en una base teniendo dos guías perpendiculares extendidas hacia arriba. La parte superior debe constar de dos orificios que coincidan con las guías de la parte inferior sobre las que se deslizará sin haber pérdidas apreciables del movimiento por fricción.
- Máquina de compresión.- Consiste en un gato montado en un marco de prueba que debe producir un movimiento vertical uniforme de dos pulgadas por minuto. Se utilizará un motor adhe

rible al mecanismo del gato.

- Anillo de prueba.- Un anillo de prueba de 5000 lbs de capacidad con sensibilidad de 10 lbs. abjo de 1000 lbs. y de 25 lbs. entre 1000 y 5000 lbs. Debe estar equipado con un extensómetro. El extensómetro debe estar graduado en diez milésimos de pulgada (0.0001").
- Baño María.- La tina para el baño María debe tener por lo menos 6" de profundidad y debe ser controlada con un termostato para mantener el baño a 60°C más menos 1.0° Centígrados.- La tina debe tener una rejilla 2" arriba del fondo para soportar las especímenes.
 - Otro equipo requerido
 - Recipientes para agregados
 - Recipientes para el cemento asfáltico: ollas, bote, etc..
 - Mexcladores: Cucharas de jardinero, espátulas, etc.
- Termómetros: Se usan para determinar la temperatura de los agregados, asfalto y la mezcla de ambos. Termómetros blindados de vidrio o de tipo metálico con carátula, deben alcanzar temperaturas de 200°C con sensibilidad de más menos 2.8°C.
- Termómetro para el baño de agua con un rango de 20 a 70°C. sensibilidad de 0.2° C.
- Balanza de 2 Kg. de capacidad con sensibilidad de 0.1 gr. para pesar los especímenes moldeados.

- Balanza de 5 kg. de capacidad con sensibilidad de 1.0 gr. para pesar la mezcla en caliente.
- Cucharón de fondo plano para recoger agregados.

Prueba de los especímenes:

Se deben de preparar por lo menos tres especímenes para cada combinación de agregados y contenido de cemento asfáltico. Se debe hacer una aproximación del contenido óptimo de asfalto por cualquiera de los métodos establecidos. A partir de este contenido se aumenta y se disminuye la cantidad de asfalto a razón de 0.5% del peso total del material pétreo quedando los siguientes contenidos de cemento asfáltico:

- Contenido calculado - 0.5%
- Contenido calculado neto.
- Contenido calculado más 0.5 %
- Contenido calculado más 1.0%
- Contenido calculado más 1.5%
- Contenido calculado más 2.0%

PROCEDIMIENTO DE PRUEBA.-

Se lleva el espécimen a la temperatura de prueba deseada por inmersión en el baño María durante 20 minutos. Se debe mantener la temperatura del baño a 60°C más o menos 1°C para espécimen de asfalto. Como una alternativa, el espécimen puede ser-

llevado a la temperatura deseada si se coloca en un horno por un mínimo de dos horas a una temperatura de 60°C más menos -- 1°C.

Se procede a revisar el molde de prueba, vigilar que los vástagos del molde así como su superficie interior se encuentren limpios, lubricar los vástagos para que la parte superior del molde resbale libremente.

Se toma el espécimen del baño María y se coloca en la parte inferior interior del molde, luego se coloca la parte superior del molde que apoya en el espécimen y se procede a colocar todo el conjunto en la posición adecuada sobre la máquina de -- prueba.

Se coloca el extensómetro sobre uno de los vástagos quedando la base apoyada en la parte superior del molde, se ajusta el extensómetro firmemente contra la parte superior del molde - mientras la carga de prueba está siendo aplicada.

Se aplicará la carga al espécimen por medio de incrementos constantes del movimiento del gato de carga de 2" por minuto hasta que la máxima carga es alcanzada, lo cual, se aprecia en la carátula del extensómetro del anillo. Se registra la máxima carga lograda como valor de estabilidad,

Se libera el extensómetro del vástago y se apunta la máxima lectura indicada en la carátula del mismo en el momento que-

la carga máxima fué alcanzada. Se anotan y registran los valores del flujo en centésimas de pulgada.

El lapso del tiempo para la prueba desde que se sacó el espécimen de prueba del baño María hasta la determinación de la carga máxima no debe exceder de 30 segundos.

Este método es el que utiliza la Secretaría de Comunicaciones y Transportes para el control y calidad de las mezclas en plantas y en caliente.

DETERMINACION DEL CONTENIDO OPTIMO DE ASFALTO
POR PRUEBAS DE COMPRESION SIN CONFINAR.

El equipo de prueba será un molde metálico de 10.2 cm. (4") de diámetro interior y 17.7 cm (7") de altura, provisto de una base metálica removible, y una placa circular para compactar, de diámetro ligeramente menor que el diámetro interior del cilindro, que puede sujetarse a la cabeza de aplicación de la carga. Este molde se utiliza cuando el agregado máximo es menor de 9.5 mm (3/8").

Un molde metálico de 12.7 cm. (5") de diámetro interior y 21.5 cm. (8.5") de altura,, provisto de una base metálica - removible y de una placa circular para la compactación. Este molde se emplea cuando el agregado es de 9,5 mm (3/8")

Una máquina de compresión con dispositivos para hacer lecturas cada 10 Kg.

Una varilla metálica de 1.9 cm. (3/4") de diámetro y 30 - cm. de longitud, con punta de bala, para el picado del material en el molde.

Un pisón metálico de 2.5 Kg. de peso, con superficie circular de apisonado de 5.08 cm (2") de diámetro de una gufa tubular de lámina de 35 cm. de longitud.

Una cuchara de albañil

Charolas de lámina.

Una balanza de 10 Kg. de capacidad consensibilidad de un gramo.

Una balanza con sensibilidad de 1 c. de gramo.

Un horno con temperatura controlable

Un termómetro con variaciones de 10 a 150° grados centígrados.

Vasos de precipitado.

El procedimiento de prueba, comprende los siguientes pasos....

- a).- La elaboración de la mezcla, se determinará el porcentaje en peso de los siguientes tamaños en que ha sido preparado previamente el material pétreo.

Si el tamaño máximo del agregado es mayor de 9.5 mm (3/8)" se tomarán 4 Kg. de material pétreo para elaborar cada uno de los seis especímenes de prueba. Se tomará de cada uno de los tamaños mencionados la cantidad de muestra que resulte de multiplicar el porcentaje en peso de cada fracción por el peso total de la muestra.

Las fracciones ya pesadas se mezclarán previamente a la adición del producto asfáltico. Para mezclas con tamaño máximo 9.5 mm. (3/8)" se procederá en forma semejante, debiendo ser de dos kg por cada espécimen.

Si la compactación de los especímenes es con carga estática, inmediatamente después de terminada la mezcla se procederá a su compactación. Se colocará el material en el molde previamente calentado, en tres capas de igual espesor dando a cada capa 25 golpes de la varilla para facilitar el acomodo del material. Se procederá a aplicar con la máquina de compresión una carga que corresponda a 40 Kg X cm^2

La carga deberá aplicarse lentamente, en forma continua y una vez alcanzada la presión específica, se mantendrá durante 2 min. La relación altura-diámetro del espécimen ya compactado deberá ser aproximadamente de 1.25, admitiéndose una discrepancia máxima de 5 mm. en las alturas de los especímenes -- elaborados con el mismo material. Se dejará enfriar el espécimen en el molde, se extraerá y se dejará un tiempo hasta que -- adquiera la temperatura ambiente con el fin de probar todos -- los especímenes a una misma temperatura.

Si la compactación es mediante impacto, inmediatamente -- después de haber elaborado la mezcla se procederá a hacerlo de la misma manera que la anterior, o en su caso, se le aplicarán 40 golpes, si el diámetro es de 12.7 cm (5"). La altura de caída deberá de ser de 30 cm y el pisón no deberá golpear directamente la mezcla, para evitar romper el agregado pétreo. Para -- su efecto, se revestirá al pisón con una camisa de cuerpo, se le colocará un disco de hule. Una vez compactada ésta y antes -- de colocar la capa siguiente de mezcla, se procederá a escari-

ficar la superficie para obtener una buena liga entre ambas capas.

Terminada la compactación de la última capa, se aplicará lentamente con la máquina una carga que sea suficiente para producir una superficie horizontal y uniforme sin que provoque fractura del agregado pétreo. La carga deberá de ser de 40 a 60 K/ cm² debiéndose mantener durante dos minutos, y se tomarán las consideraciones anteriores, después de haber aplicado la carga.

Este método lo utilizamos en México para el control de mezclas en planta y en frío.

C A P I T U L O V I

PAVIMENTOS DE PENETRACION INVERTIDA

PAVIMENTOS DE PENETRACION INVERTIDA

Los métodos de penetración para la construcción, consisten primeramente en colocar el agregado, para luego aplicarle el aglutinante. La penetración invertida como su nombre lo dice, invierte el procedimiento; primeramente se rocía el aglutinante sobre la superficie ya preparada y después se cubre con agregado.

Los métodos de penetración invertida se subdividen de acuerdo a los propósitos que se desean. Las subdivisiones principales son: paliativos contra el polvo, para el control del polvo, revestimiento tapa poros o revestimientos pegajosos para tratar superficies sobre las cuales va a construirse un nuevo pavimento para la capa de desgaste, tratamientos superficiales y cubiertas de blindaje para brindar protección temporal para las superficies no tratadas, y revestimientos selladores para proteger, nivelar o en todo caso, para mejorar los pavimentos existentes.

A).- PALIATIVOS CONTRA EL POLVO.-

Los vehículos al pasar a gran velocidad por la carpeta algunas veces ocasionan la agitación de polvo y arena fina la cual, se encuentra en los acotamientos a lo largo del camino. Esto origina accidentes ya que limita la visión de los automó

vilistas. El viento frecuentemente erosiona los taludes de corte o terracerías hechos con materiales arenosos y que contienen poca tierra (ligera) de liga. El tratamiento para controlar estas condiciones consiste en una pequeña aplicación (aproximadamente 0.9 lt/m²) de aceite ligero y de curación lenta. Este aceite penetra en la superficie a una profundidad aproximada de 1.27 cm. y proporciona una película que rodea las partículas aisladas y las liga entre sí. Después seleccionan los aceites de curación lenta, ya que éstos permanecen blandos durante más tiempo. Las emulsiones generalmente no son satisfactorias, ya que están hechas con asfaltos más duros. Estas al fraguar, producen una superficie quebradiza que esparce una ligera aplicación de arena, después se coloca el aceite, el cual puede utilizarse para reseca el exceso de aceite en las secciones de penetración baja.

El aceite calentado a una temperatura aproximada de 80°C se esparce con un camión o con un aspersor manual en las áreas de menos acceso. El tratamiento debe de hacerse con buen tiempo, caliente y calmado. Si el suelo es ligeramente húmedo la penetración se mejora.

Los asfaltos emulsionados de fraguado lento, diluidos en cuatro o menos partes de agua han sido usados con éxito. El aceite usado de los automóviles es un excelente paliativo contra el polvo, para tratar áreas pequeñas.

B).- REVESTIMIENTO TAPA POROS.-

Antes de la colocación de un pavimento asfáltico sobre una base de tierra, grava o macadam ligado con agua, la superficie se sella o estabiliza mediante la aspersion sobre una aplicación inicial de material asfáltico. El objeto de esto es el de tapar los huecos capilares, a fin de detener el movimiento ascendente del agua y revestir y ligar el polvo y las partículas minerales gruesas, endureciendo y afirmando así la superficie. La adhesión entre la base y la capa superficial es así mejorada. Cuando el tránsito debe de utilizar la mitad de la plantilla del camino durante la construcción, la cubierta tapaporos también sirve para proteger la base antes de la colocación del pavimento. Si la pavimentación se realiza mediante métodos de mezcla en el camino, el revestimiento tapaporos proporciona una cama sobre la cual puede hacerse dicha mezcla.

Los aceites diluidos más ligeros y de curación media se seleccionan generalmente para los revestimientos tapaporos. Son lo suficientemente fluidos para penetrar dentro de la base pero dejan un asfalto viscoso en los poros de la superficie tratada. Los aceites más fluidos son recomendados para superficies más cerradas, las graduaciones más densas pueden ser usadas en superficies más sueltas. La cantidad de aglutinante que va a aplicarse depende de la firmeza de la superficie que

se está sellando. Pueden requerirse cantidades de 1.35 a - 3.72 lt/2.

Antes de colocarse el revestimiento tapaporos, la superficie debe conformarse, humedecerse y apisonarse, para hacerse sólida y uniforme. Las variaciones en la textura superficial originarían una penetración no uniforme y dejarían lugares húmedos y secos. Si cuando el aglutinante se coloca, la base está ligeramente húmeda, se obtiene una mejor penetración. El aceite se esparsa mediante un camión de presión a la temperatura prescrita. Después de su aplicación debe desviarse el tránsito hasta que la superficie no esté pegajosa y no sea levantada por las ruedas. Si ésto no puede hacerse, debe aplicarse una capa de arena.

C).- REVESTIMIENTOS ADHESIVOS

Con frecuencia los pavimentos asfálticos o de concreto son revestidos con una capa asfáltica de mezcla de planta, ya sea concreto asfáltico, laminado u otro. Es común bajo estas circunstancias aplicar al revestimiento existente una capa adhesiva, para unir o pegar firmemente las capas antiguas con las nuevas.

Para los revestimientos adhesivos al aglutinar debe aglutinar y reblandecer la superficie de una mezcla asfáltica antigua o unirse firmemente a una superficie de concreto.

También debe ser lo suficientemente cohesivo para ligar las capas antiguas y las nuevas. Las diluciones de curación rápida

en graduaciones más livianas y emulsiones diluidas en agua de fraguado lento se especifican comunmente para lo anterior.

Algunas otras especificaciones incluyen emulsiones de ruptura lenta y alquitranes regularmente pesados. El régimen usual de aplicación varía entre 0.226 y 0.678 lt/m² de superficie.

Las temperaturas de aplicación son ajustadas para el producto. Los revestimientos pegajosos generalmente se aplican poco tiempo antes que se tienda el revestimiento, y el tránsito debe conservarse alejado de ellos.

D).- TRATAMIENTO SUPERFICIAL (Revestimiento de protección)

El término tratamiento superficial indica una superficie asfáltica y delgada de aglutinante, cubierto por agregados minerales, y aplicada a una superficie de tierra, grava u otro material. En caminos con poco movimiento, los cimientos esenciales protegidos por tratamientos superficiales, proporcionan un pavimento permanente y relativamente barato que resuelve los problemas de control de polvo, formación de ondulaciones y pérdidas de material de revestimiento, creados -- por la acción abrasiva de las llantas de los autos. Para carreteras con tránsito pesado, los tratamientos superficiales pueden servir solo temporalmente debido a su carencia de resistencia. Son empleados por Secretarías o agencias cuyos fondos son limitados, a manera de un pavimento temporal y como -

protección para el material de base.

Los tratamientos superficiales se emplearon primeramente hacia el año de 1907, para evitar la ondulación y desgaste y para controlar el polvo en los caminos de macadam ligado por el agua. En 1914, las superficies de grava estaban similarmente protegidas. En 1920, el tratamiento superficial asfáltico de las superficies de grava y de piedra finamente triturada - se había generalizado.

Debido a que los tratamientos superficiales son delgados es esencial una unión firme entre ellos y las capas del agregado que protegen; por lo tanto, es común después de conformar las superficies, el aplicar revestimiento tapaporos, tal como se hace en la construcción de muchos otros pavimentos.

El tratamiento superficial propiamente dicho que se aplica después de la capa tapaporos, puede ser tan delgado como -- 6.35 mm, o tan grueso como 2.54 cm. Los tipos más delgados -- (una piedra), consisten en material líquido regularmente pesado; cubierto con 5.4 a 13.5 kg. de piedra limpia tamizada o grava fina tamizada, escoria o material equivalente libre de polvo. La granulación varía entre 9.52 mm y el tamaño No. 10. El material de cubrimiento más grande, con tamaños máximos de 12.7 o 15.9 mm, el cual requerirá de 19 a 22 Kg/m². La selección de asfalto líquido estará controlada por el tamaño máximo del material de la cubierta.

El material asfáltico se esparce a temperatura apropiada de aplicación, por medio de un camión distribuidor de presión. Los materiales de cubrimiento se esparcen generalmente con camiones de volteos, a través de un dispositivo repartidor que asegura una distribución uniforme. Para evitar la recolección de material asfáltico, es común esparcir con un camión de retroceso, de modo que las llantas rueden sobre el -tamizado recién aplicado. Después se da un ligero barrido -- con cepillos de arrastre, para asegurar una distribución uniforme de los tamizados. Por último, se aplica un apisonado ligero con apisonadoras de llantas neumáticas o de ruedas lisas, después del barrido.

CAPITULO VII

APLICACIONES

(EJEMPLOS)

A P L I C A C I O N E S

EJEMPLOS:

Entre las diversas aplicaciones que tienen los pavimentos asfálticos, así como los derivados del mismo, se pueden citar los siguientes: carreteras, aeropistas, calles, bacheo, etc.

APLICACION DE PAVIMENTOS ASFALTICOS A UNA CARRETERA.

Limitaciones climáticas: Las superficies formadas por una capa de materiales mezcladas en planta, se construirán únicamente cuando se encuentren secas, con temperatura atmosférica de más de 40°F, a la sombra y en ascenso o más de 50° F en descenso y cuando el tiempo no estuviera neblinoso o lluvioso.

EQUIPO PARA LA COLOCACION DE LOS MATERIALES

El equipo para la distribución, conformación y terminación será formado por una terminadora automática (finisher) que debe trabajar de tal modo que no sea necesario una operación suplementaria, para obtener un pavimento que llene las exigencias especificadas en cuanto a la uniformidad y lisura de la calzada.

El equipo de compactación se compondrá como mínimo de un cilindro a tambores en tándem y de un rodillo neumático -

autopropulsado. También pueden usarse rodillos de 3 ruedas - lisos, rodillos vibradores y compactadores u otro equipo similar que resulta satisfactorio para el ingeniero. El equipo utilizado en la obra deberá ser suficiente para compactar - la mezcla rápidamente, mientras que esté en condiciones de - ser trabajada. No se permitirá el uso de equipos que originen una trituración de los agregados.

En el ejemplo se ilustrará claramente, el procedimiento propuesto por el Instituto de Ingeniería.

Supongamos que se va a construir un tramo de carretera - de dos carriles tipo secundario con una vida de diseño de 9 -- años. La carretera está alojada en terreno plano por lo que - sus características geométricas son buenas. En general, la al tura de los terraplanes no sobrepasa un metro con un promedio de .75 mts. El nivel friático está en promedio a 0.8m.

La región es de clima subtropical y la precipitación plu - vial está concentrada en los meses de verano. Durante esta épo ca se forman numerosos charcos y se eleva el nivel friático, - lo que indica que las condiciones de drenaje no son del todo - buenas.

El suelo es relativamente homogéneo en todo el tramo de - carretera bajo análisis se trata de un CM con L.L = 45 I.P=20

Se estima que el tránsito diario promedio anual será de -

500 vehículos / día y se incrementará en un 7.5% anual. La composición probable del tránsito y la proporción de vehículos -- cargados y vacíos es la siguiente:

Tipo de vehículo	Composición	Proporción	
		Cargado	Vacíos
Automóviles (A2)	.339	1	0
Camiones Ligeros (A'2)	.144	.6	.4
Autobuses (32)	.097	.8	.2
Camiones 2 ejes (C2)	.274	.7	.3
Camiones 3 ejes (C3)	.072	.9	.1
Tractor con semi remolque (T2-S1)	.025	.7	.3
Tractor con remolque (T2-S2)	.049	.9	.1

Los materiales que incluirá el pavimento serán:

El cuerpo de teraplen - Mak.

MATERIAL	Tratamiento	VRS(%)	V	CRS ₂	Utiliza ción
Piedra triturada	Trituración total	140	0.2	116	Carpeta
Grava Arena de Rfo	Tri-ado	100	.25	80	Base hi dráulica
Grava - Arena Arcillosa	Ninguno	60	.30	45	Sub-base

$$VRS = VRS \quad 1 - 0.84 V$$

$$V = \frac{Sx}{\sqrt{VRS}}$$

$$= \sqrt{VRS} \quad 1 - 0.84 \left(\frac{Sx}{\sqrt{VRS}} \right)$$

$$VRS = \sqrt{VRS} - 0.84 Sx$$

De acuerdo a la experiencia de la zona se le asigna un -
VRS = 3 al desplante del cuerpo de terraplen.

De acuerdo a la experiencia de la zona se le asigna un -
VRS=3 al desplante del cuerpo de terraplen.

CT = Podemos calcularlo con la fórmula o con la Fig. No. 6

r = Tasa de crecimiento anual

n = Años de servicio

DISEÑO DEL PAVIMENTO:

El Instituto de Agronomía presenta 4 gráficas de diseño -
que serán Fig. A-4, A-5, A-6 y A-7.

Nivel de Confianza: Que depende de la importancia del camino,
Mayor importancia nivel de confianza.

De la seguridad que al muestreo sea adecuado, es decir, a ma-
yor certeza de que los parámetros de diseño sean representati-
vos del pavimento a diseñar podemos disminuir el nivel de con-
fianza.

Para este método al valor Z se obtiene en cm. de grado equivalente. Todos los materiales tienen un coeficiente de equivalencia = 1 (lo supone el método) con excepción de la carpeta, donde 0-1 puede variar 0-2.

El valor de "0" corresponderá exclusivamente a tratamientos especiales.

El valor de 2 corresponderá cuando se utiliza carpeta con concreto asfáltico. Pudiendo en otros casos variar el valor de A 1 para cuando la carpeta no tiene la suficiente calidad, tales como elaboración de mezclas en el lugar.

Entrando con un VR= 80 el espesor será $Z_1 = 11$ cm. (Ect. - derecho Fig. 7)

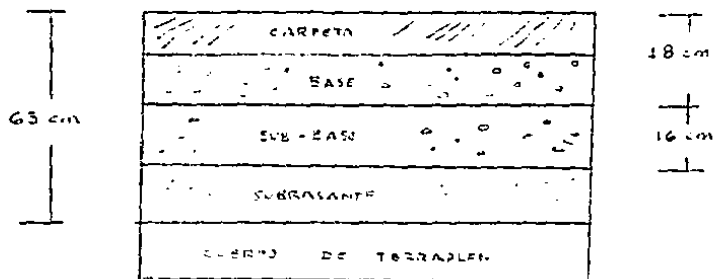
Espesor mínimo concreto asfáltico 8 cm. (si requiere siquiera un cm. o mm.).

Arriba de la subrasante requiere 47 cm. y la diferencia de 63 cm será la sub-rasante.

Arriba de la sub-base requiere 18 cm.

Arriba de la base requiere 0 cm.

UN PRIMER DISEÑO DE PAVIMENTO PUEDE SER ESTO:



Si tomamos material para base VRS = 80 $Z_1=11$ cm.

Subrasante = 16 cm,

Su base 13-11 = 7 cm de base

$A_1 = \frac{11}{2} = 5.5$ cm (de concreto asfáltico), generalmente se redondea a un número mayor 6 cm.

Espesor de base = 18 cm (sub-base)- 12 cm (base)

Espesor de base = 6 cm. (de base) pero por especificaciones el espesor mínimo de base y subbase de 10 cm.

Sub base será entonces 29 cm - 4 cm = 25 cm.

Otro diseño será poner mucha carpeta y no poner base
18 cm. grava equivalente 9 cm. de concreto asfáltico.

Otro diseño:

4 cm. de concreto asfáltico (carpeta)
10 cm. de base triturada
29 cm. de sub base
30 cm. de sub rasante

Otra forma:

Riego de Sello

47 cm, de material triturado (base)
Sub - rasante.

4 cm. concreto asfáltico 4 cm x 2 = 8 cm.

10 cm. base (grava-arena crivada)

29 cm. sub base

16 cm.

63 cm.

A CONTINUACION, SE MUESTRAN LAS GRAFICAS PARA EL
CALCULO Y DISEÑO DEL EJEMPLO ANTERIOR.

TIPO DE VEHICULO	COMPOSICION DEL TRANSITO (1)	COEFICIENTE DE DISTRIBUCION DE VEHICULOS CARGADOS O VACIOS (2)	COMPOSICION DEL TRANSITO CARGADOS O VACIOS (3) + (4) + (5)	COEFICIENTES DE DAÑO		NUMERO DE EJES SENCILLOS EQUIVALENTES DE 8.2 Ton			
				CARPETA Y BASE 2' 0	SUB-BASE Y TERRACERIAS 2' 30	CARPETA Y BASE (6) = (3) x (4)	SUB-BASE Y TERRACERIAS (7) = (3) x (5)		
A2	0.339	CARGADOS 1.0	0.339	0.001	0.000	0.001	0.000		
		VACIOS 0.0	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000		
A'2	0.144	CARGADOS 0.6	0.086	0.536	0.023	0.046	0.002		
		VACIOS 0.4	0.058	0.536	0.000	0.031	0.000		
B2	0.097	CARGADOS 0.8	0.078	2.000	1.589	0.156	0.124		
		VACIOS 0.2	0.019	2.000	0.360	0.038	0.007		
C2	0.274	CARGADOS 0.1	0.192	2.000	1.589	0.384	0.305		
		VACIOS 0.3	0.082	2.000	0.018	0.164	0.001		
C3	0.072	CARGADOS 0.9	0.035	3.000	1.178	0.195	0.077		
		VACIOS 0.1	0.007	3.000	0.030	0.021	0.000		
T2-S1	0.025	CARGADOS 0.7	0.018	3.000	3.072	0.054	0.055		
		VACIOS 0.3	0.007	3.000	0.027	0.021	0.000		
T2-S2	0.049	CARGADOS 0.9	0.044	4.000	2.661	0.176	0.117		
		VACIOS 0.1	0.005	4.000	0.033	0.020	0.000		
SUMAS	1.000	7.0	1.000	EJES EQUIVALENTES PARA TRANSITO UNITARIO (8)		1.307	0.688		
COEFICIENTE DE ACUMULACION DEL TRANSITO, $C_T = \left[\frac{(1+r)^n - 1}{r} \right] 365$				TDA INICIAL EN EL CAMIN. DE PROYECTO (9)		250	250		
n = AÑOS DE SERVICIO = 9				C_T (10)		4463.89	1463.89		
T = TASA DE CRECIMIENTO ANUAL DEL TRANSITO = 7.5 %				ΣL (11) = (8) x (9) x (10)		1458.578	767.790		
TDPA = TRANSITO DIARIO MEDIO ANUAL = 500				CD CAMIN. PROYECTO = 0.5					

Ejemplo: cálculo del tránsito equivalente acumulado (ΣL)

Fig 5

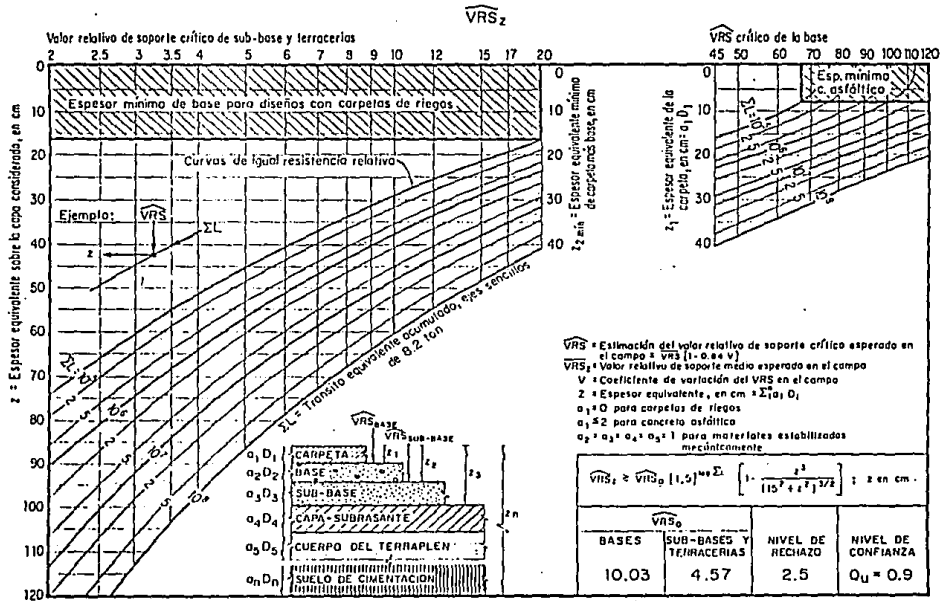


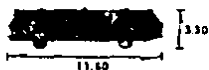
Fig A7. Gráfica para el diseño estructural de carreteras con pavimento flexible


A2 Automóvil

Camión A, B, C	Conjunto	Peso, en ton		p, kg/cm ²	d _m = Coeficiente daño bajo carga máxima				d _v = Coeficiente de daño vacío			
		Carga máxima	Vacío		2:0	2:15	2:30	2:60	2:0	2:15	2:30	2:60
1 ^a	1.0	0.8	2.0	0.002	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	
2 ^a	1.0	0.8	2.0	0.002	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	
Σ	2.0	1.6		0.004	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	


A'2 Camión ligero, con capacidad de carga hasta de 3 ton

Camión A, B, C	Conjunto	Peso, en ton		p, kg/cm ²	+d _m = Coeficiente daño bajo carga máxima				d _v = Coeficiente de daño vacío			
		+Carga máxima	Vacío		2:0	2:15	2:30	2:60	2:0	2:15	2:30	2:60
1 ^a	1.7	1.3	4.6	0.268	0.003	0.000	0.000	0.268	0.001	0.000	0.000	
2 ^a	3.8	1.2	4.6	0.268	0.061	0.023	0.015	0.268	0.001	0.000	0.000	
Σ	5.5	2.5		0.536	0.064	0.023	0.015	0.536	0.002	0.000	0.000	


B2 Autobús de dos ejes

Camión A	Conjunto	Peso, en ton		p, kg/cm ²	+d _m = Coeficiente daño bajo carga máxima				d _v = Coeficiente de daño vacío			
		+Carga máxima	Vacío		2:0	2:15	2:30	2:60	2:0	2:15	2:30	2:60
1 ^a	5.5	3.5	5.8	1.000	0.349	0.167	0.119	1.000	0.029	0.001	0.010	
2 ^a	10.0	7.0	5.8	1.000	1.541	2.290	2.820	1.000	0.679	0.501	0.433	
Σ	15.5	10.5		2.000	1.890	2.457	2.939	2.000	0.757	0.502	0.443	
Camión B	1 ^a	5.0	3.5	5.8	1.000	0.261	0.106	0.071	1.000	0.079	0.001	0.010
2 ^a	9.0	6.5	5.8	1.000	1.234	1.483	1.630	1.000	0.558	0.335	0.292	
Σ	14.0	10.0		2.000	1.495	1.589	1.701	2.000	0.637	0.340	0.302	
Camión C	1 ^a	4.0	3.0	5.8	1.000	0.124	0.002	0.021	1.000	0.044	0.009	0.004
2 ^a	8.0	6.0	5.8	1.000	0.944	0.900	0.878	1.000	0.448	0.249	0.190	
Σ	12.0	9.0		2.000	1.010	0.902	0.899	2.000	0.492	0.258	0.194	

+Cargas máximas de acuerdo con el "Proyecto de Actualización del Capítulo XI del Reglamento de Explotación de caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT", México, D.F., 1978.

- *EJE SENCILLO
- **EJE TANDEM
- ***EJE TRIPLE

Coefficientes de daño



C2 Camión de dos ejes

Camión A	Conjunto	Peso, en ton		P, kg/m ²	+d _m = Coeficiente de daño bajo carga máxima				d _v = Coeficiente de daño vacío			
		+Carga máxima	Vacío		± 0	± 15	± 30	± 60	± 0	± 15	± 30	± 60
		1 ^a	5.5		3.5	5.8	1.000	0.349	0.167	0.119	1.000	0.079
2 ^a	10.0	3.0	5.8	1.000	1.541	2.290	2.020	1.000	0.044	0.009	0.004	
Σ	15.5	6.5		2.000	1.890	2.457	2.939	2.000	0.123	0.028	0.014	
Camión B	1 ^a	5.0	3.0	5.0	1.000	0.261	0.106	0.071	1.000	0.044	0.009	0.004
	2 ^a	9.0	3.0	5.0	1.000	1.734	1.483	1.630	1.000	0.044	0.009	0.004
	Σ	14.0	6.0		2.000	1.995	1.589	1.701	2.000	0.088	0.018	0.008
Camión C	1 ^a	4.0	2.5	5.8	1.000	0.124	0.036	0.021	1.000	0.022	0.003	0.002
	2 ^a	8.0	2.5	5.8	1.000	0.944	0.900	0.878	1.000	0.022	0.003	0.002
	Σ	12.0	5.0		2.000	1.070	0.936	0.899	2.000	0.044	0.006	0.004

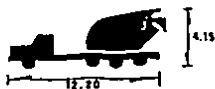


C3 Camión de tres ejes

Camión A	Conjunto	Peso, en ton		P, kg/m ²	+d _m = Coeficiente de daño bajo carga máxima				d _v = Coeficiente de daño vacío			
		+Carga máxima	Vacío		± 0	± 15	± 30	± 60	± 0	± 15	± 30	± 60
		1 ^a	5.5		4.0	5.8	1.000	0.349	0.167	0.119	1.000	0.124
2 ^a	10.0	4.5	5.8	2.000	2.468	2.290	2.021	2.000	0.028	0.003	0.002	
Σ	23.5	8.5		3.000	2.817	2.457	2.940	3.000	0.154	0.039	0.023	
Camión B	1 ^a	5.0	3.8	5.8	1.000	0.261	0.106	0.071	1.000	0.106	0.028	0.016
	2 ^a	15.0	4.2	5.8	2.000	1.615	1.072	1.088	2.000	0.021	0.002	0.001
	Σ	20.0	8.0		3.000	1.876	1.178	1.160	3.000	0.127	0.030	0.017
Camión C	1 ^a	4.0	3.5	5.4	0.666	0.107	0.034	0.021	0.666	0.068	0.018	0.010
	2 ^a	14.0	4.0	5.4	1.333	1.082	0.722	0.735	1.333	0.015	0.002	0.001
	Σ	18.0	7.5		1.999	1.190	0.756	0.756	1.999	0.083	0.020	0.011

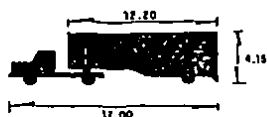
+Cargas máximas de acuerdo con el "Proyecto de Actualización del Capítulo XI del Reglamento de Explotación de caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT", México, D F, 1978.

- *EJE SENCILLO
- **EJE TANDEM
- ***EJE TRIPLE



C4 Camión de cuatro ejes

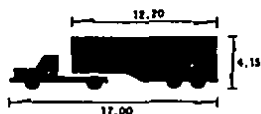
Conjunto	Peso, en ton		p, kg/cm ²	+ d _m = Coeficiente daño bajo carga rodadura				d _v = Coeficiente de daño vacío			
	+Carga máxima	Vacío		z = 0	z = 15	z = 30	z = 60	z = 0	z = 15	z = 30	z = 60
	1 ^a	5,5		4,5	5,8	1,000	0,349	0,167	0,119	1,000	0,187
2 ^a & 3 ^a	22,5	8,0	5,8	3,000	2,422	2,289	2,818	3,000	0,084	0,020	0,011
Σ	28,0	12,5		4,000	2,771	2,456	2,937	4,000	0,271	0,084	0,051

T2-S1 Tractor de dos ejes con
semirremolque de un eje

Conjunto	Peso, en ton		p, kg/cm ²	+ d _m = Coeficiente daño bajo carga rodadura				d _v = Coeficiente de daño vacío			
	+Carga máxima	Vacío		z = 0	z = 15	z = 30	z = 60	z = 0	z = 15	z = 30	z = 60
	1 ^a	5,5		3,2	5,8	1,000	0,349	0,167	0,119	1,000	0,057
2 ^a	10,0	3,4	5,8	1,000	1,541	2,290	2,820	1,000	0,071	0,016	0,009
3 ^a	10,0	3,4	5,8	1,000	1,541	2,290	2,820	1,000	0,071	0,016	0,009
Σ	25,5	10,0		3,000	3,431	4,747	5,759	3,000	0,199	0,044	0,024
1 ^a	5,0	3,0	5,8	1,000	0,261	0,106	0,071	1,000	0,044	0,009	0,004
2 ^a	9,0	3,0	5,8	1,000	1,234	1,483	1,630	1,000	0,044	0,009	0,004
3 ^a	9,0	3,0	5,8	1,000	1,234	1,483	1,630	1,000	0,044	0,009	0,004
Σ	23,0	9,0		3,000	2,729	3,072	3,331	3,000	0,132	0,027	0,012

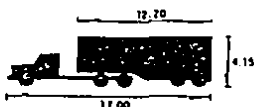
+Cargas máximas de acuerdo con el "Proyecto de Actualización del Capítulo XI del Reglamento de Explotación de caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT", México, D F, 1978.

- *EJE SENCILLO
- **EJE TANDEM
- ***EJE TRIPLE



T2-S2 Tractor de dos ejes con
semirremolque de dos ejes

Conjunto	Peso, en ton			d_m = Coeficiente de daño bajo carga máxima				d_v = Coeficiente de daño vacío				
	Carga máxima	Vacio	P_t kg/cm ²	z = 0	z = 15	z = 30	z = 60	z = 0	z = 15	z = 30	z = 60	
Caminos A	1 ^a	5,5	4,0	5,8	1,000	0,349	0,167	0,119	1,000	0,126	0,036	0,021
	2 ^a	10,0	3,5	5,8	1,000	1,541	2,290	2,820	1,000	0,079	0,019	0,010
	3 ^a **	18,0	4,0	5,8	2,000	2,468	2,290	2,821	2,000	0,017	0,002	0,001
	Σ	33,5	11,5		4,000	4,358	4,747	5,760	4,000	0,222	0,057	0,032
Caminos B	1 ^a	5,0	3,4	5,8	1,000	0,261	0,106	0,071	1,000	0,071	0,016	0,009
	2 ^a	9,0	3,4	5,8	1,000	1,234	1,483	1,630	1,000	0,071	0,016	0,009
	3 ^a **	15,0	3,7	5,8	2,000	1,615	1,072	1,089	2,000	0,012	0,001	0,001
	Σ	29,0	10,5		4,000	3,110	2,661	2,790	4,000	0,154	0,033	0,019



T3-S2 Tractor de tres ejes con
semirremolque de dos ejes

Conjunto	Peso, en ton			d_m = Coeficiente de daño bajo carga máxima				d_v = Coeficiente de daño vacío				
	Carga máxima	Vacio	P_t kg/cm ²	z = 0	z = 15	z = 30	z = 60	z = 0	z = 15	z = 30	z = 60	
Caminos A	1 ^a	5,5	4,0	5,8	1,000	0,349	0,167	0,119	1,000	0,126	0,036	0,021
	2 ^a **	10,0	4,0	5,8	2,000	2,468	2,290	2,821	2,000	0,017	0,002	0,001
	3 ^a **	18,0	4,0	5,8	2,000	2,468	2,290	2,821	2,000	0,017	0,002	0,001
	Σ	41,50	12,0		5,000	5,285	4,747	5,761	5,000	0,160	0,040	0,023
Caminos B	1 ^a	5,0	3,5	5,8	1,000	0,261	0,106	0,071	1,000	0,079	0,019	0,010
	2 ^a **	10,0	4,0	5,8	2,000	1,615	1,072	1,089	2,000	0,017	0,002	0,001
	3 ^a **	15,0	4,0	5,8	2,000	1,615	1,072	1,089	2,000	0,017	0,002	0,001
	Σ	35,0	11,5		5,000	3,491	2,250	2,249	5,000	0,113	0,023	0,012

† Cargas máximas de acuerdo con el "Proyecto de Actualización del Capítulo XI del Reglamento de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT", México, D.F., 1978.

- *EJE SENCILLO
- **EJE TANDEM
- ***EJE TRIPLE

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Después de leer e investigar en varios autores, así como haber platicado con las personas autorizadas en este ramo, me he dado cuenta, que el campo de pavimentación es muy amplio e interesante. Este trabajo me ha servido para ampliar algunos de los temas vistos en clase y tener una mayor comprensión de ellos, además ha despertado en mí el interés por la pavimentación, ya que es un tema de actualidad y de desarrollo para el país.

Sin embargo, también debo hacer notar que no siempre el diseño de costo mínimo es el diseño óptimo, pues en ocasiones la incertidumbre en dicho costo puede ser alta. Por lo tanto, debemos de cuidar este punto.

Otro de los puntos importantes que encontré durante la realización de mi tesis, fué, que cada vez que vayamos a diseñar un pavimento, debemos aplicar bien los métodos de diseño, así como el más óptimo, de acuerdo al tipo de terreno, clima y condiciones atmosféricas, en donde lo vayamos a proyectar.

BIBLIOGRAFIA

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

- | | |
|---|--------------------------------------|
| ENULSIONES ASFALTICAS | GUSTAVO RIVERA E. |
| ESPECIFICACIONES DE LA S.C.T. | |
| PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN. | JOHN WILEY & SONS INC. |
| INGENIERIA DE CARRETERAS, CALLES, VIADUCTOS Y PASOS A <u>DES</u>
NIVEL. | |
| ESPECIFICACIONES GENERALES PA
RA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS
Y PUENTES DE ACUERDO CON LOS -
PROYECTOS FEDERALES DE <u>CARRETE</u>
RAS. | EDITORIAL CULTURAL T.G.,
S.A. |
| APUNTES DE PAVIMENTACION | ING. JULIAN DE JESUS LIMON
LIMON. |
| INSTRUCTIVO PARA EL DISEÑO <u>ES</u>
<u>TRUCTURAL</u> DE PAVIMENTOS <u>FLEXI</u>
<u>BLES</u> PARA CARRETERAS. | SAHOP |