

55-

Universidad Nacional Autónoma de México  
FACULTAD DE INGENIERIA



DISEÑO Y CONSTRUCCION  
DE MEZCLAS ASFALTICAS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A

FERNANDO GARCIA IBARRA

MEXICO, D. F.

FEBRERO 1979

CONFORME AL REGLAMENTO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, EN LA CIUDAD DE MÉXICO, D. F., A LOS CINCO DÍAS DEL MES DE FEBRERO DE 1979, FUE APROBADA POR EL COMITÉ DE EXAMINADORES DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL, LA TESIS PRESENTADA POR EL C. FERNANDO GARCIA IBARRA, CON EL TÍTULO DE "DISEÑO Y CONSTRUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS".



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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 esta 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA  
EXAMENES PROFESIONALES  
60-1-23.-

Al Pasante señor FERNANDO GARCIA IBARRA  
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Salvador Canales de la Parra, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero CIVIL.

"DISEÑO Y CONSTRUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS"

- I. Características y normas de calidad de los materiales
- II. Métodos de diseño de mezclas asfálticas
- III. Construcción de carpetas asfálticas
- IV. Carpetas de riego de materiales pétreos
- V. Presupuestos
- VI. Conclusiones

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

A t e n t a m e n t e  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, 23 de enero de 1979.  
EL DIRECTOR

ING. JAVIER JIMENEZ ESPRIU

JJE/OBLH/mdr.-

## I N D I C E

	Pág.
INTRODUCCION.	1
I CARACTERISTICAS Y NORMAS DE CALIDAD DE LOS MATERIALES.	2
A) Material Pétreo.	
B) Material Asfáltico.	
II METODOS DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS.	42
A) Obtención, envase, identificación, transporte y preparación de las muestras.	
B) Procedimiento para calcular el contenido mínimo de asfalto en proyecto de mezclas asfálticas, - por fórmulas empíricas y su aplicación en el -- control de la elaboración de las mismas.	
C) Determinación del contenido óptimo de asfalto - por el procedimiento de absorción de Kerosina.	
D) Determinación del contenido óptimo de asfalto - por el procedimiento de pruebas de compresión - sin confinar.	
E) Procedimiento de Marshall para la determinación de los valores de estabilidad y de flujo de mezclas asfálticas.	
F) Procedimiento de Hveem para la determinación de los valores de Estabilidad, Cohesión, y expansión en mezclas asfálticas.	
G) Determinación del porcentaje de vacíos en mezclas asfálticas.	
H) Consideraciones generales relativas al contenido óptimo de asfalto con mezcla de materiales - graduados.	
III CONSTRUCCION DE CARPETAS ASFALTICAS.	101
A) Elaboración de mezclas asfálticas en el lugar.	
B) Elaboración de mezclas asfálticas en caliente.	
C) Compactación y tendido de mezclas asfálticas - en general.	
D) Pruebas de laboratorio para el control de calidad en las carpetas.	
E) Especificaciones.	

	Pág.
IV	CARPETAS DE RIEGO DE MATERIALES PETREOS. 127
	A) Aplicación de los tratamientos superficiales para la elaboración de carpetas asfálticas.
	B) Especificaciones.
V	PRESUPUESTO DE UNA CARPETA ASFALTICA. 133
	A) Mezcla asfáltica en el lugar.
	B) Mezcla asfáltica en planta.
	C) Carpeta de un riego.
VI	CONCLUSIONES. 144
	BIBLIOGRAFIA. 147

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

Dada la importancia y el interés que el Gobierno Federal y Estatal han puesto en la construcción de carreteras - que permitan la comunicación de los centros de población mas importante con los puntos mas alejados del país, el gran incremento en la construcción de unidades habitacionales que requieren grandes obras de pavimentación, ha creado en mí el interés en elaborar un trabajo que nos proporcione una guía práctica para dosificar por los distintos métodos de diseño mas conocidos, una mezcla asfáltica, empleando los procedimientos de construcción mas comunes, que a la fecha existen.

## C A P I T U L O I

### CARACTERISTICAS Y NORMAS DE CALIDAD DE LOS MATERIALES

Los materiales empleados en la construcción de carpetas asfálticas, son dos: Producto Asfáltico y material Pétreo. Estos dos materiales deben seleccionarse adecuadamente, tomando en cuenta la función que desempeñan bajo las distintas condiciones de tránsito y clima a que están sometidos.

Aunque en determinadas circunstancias se hacen necesarios añadir al asfalto un agente activante para mejorar su adherencia con el material pétreo, este producto no es indispensable en la generalidad de los casos, por lo que su empleo se restringe a ciertos casos específicos.

Antes de seleccionar los materiales que deberán emplearse, debe sopesarse cuidadosamente los costos de extracción y de acarreo de los materiales disponibles en la región, así como la abundancia o la escasez de los mismos y sus características físicas o físico-químicas.

En este capítulo se discutirán cada uno de los factores que afectan el comportamiento de la carpeta en cuanto a tipo y calidad de los materiales que intervienen, para llegar luego a las normas de calidad que deben cumplir cada una de ellos; dividiéndolos en dos partes:

## A.- MATERIAL PETREO.

## B.- PRODUCTO ASFALTICO.

A.- MATERIAL PETREO.

Los materiales pétreos son aquellos materiales seleccionados que, recubiertos total ó parcialmente por una película asfáltica, forman la superficie de rodamiento.

Los materiales pétreos para carpetas esfálticas se clasifican en tres grupos:

a).- Materiales naturales que no requieren ningún -- tratamiento, tales como arenas de río, limos para mejoramiento, gravillas con arena, arenas graníticas, areniscas, etc.

b).- Materiales naturales o escorias de fundición -- que requieren un tratamiento previo de cribado o trituración.

c).- Mezclas de materiales del grupo a), del grupo -- b) o de ambos.

En cuanto a las características del material pétreo -- que de una forma u otra afectan el comportamiento de las carpe -- tas pueden citarse las siguientes:

- I - Composición granulométrica
- II - Tamaño de las partículas
- III - Forma de las partículas
- IV - Características superficiales de las partículas
- V - Contracción lineal



VI - Durabilidad

VII - Peso Volumétrico

VIII - Uniformidad en la producción

I - COMPOSICION GRANULOMETRICA.

Los materiales pétreos para carpetas asfálticas elaboradas por los sistemas de mezcla en el lugar y en planta estacionaria, deberán satisfacer las siguientes normas:

1) La curva granulométrica del material pétreo para mezclas en el lugar, o en planta, deberá quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el superior de la zona 3. La curva granulométrica deberá afectar una forma semejante a la de las curvas que limitan las zonas, por lo menos en las dos terceras partes (2/3) de su longitud, sin presentar cambio brusco de pendiente. Ver figura 1.1

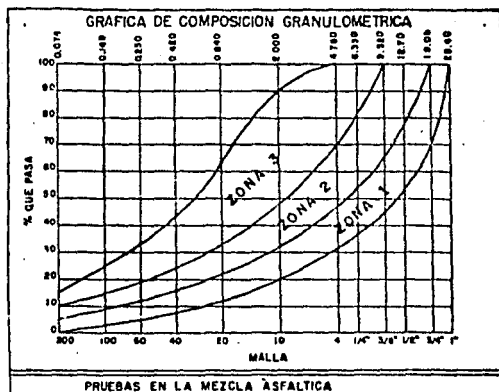


Figura 1.1

## II - TAMAÑO DE LAS PARTICULAS

El tamaño de las partículas tiene gran importancia en el comportamiento de la carpeta asfáltica, pues tiene marcada influencia en la resistencia estructural de la misma. La Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, establece que el espesor de la carpeta asfáltica debe ser 2.5 veces el diámetro del material pétreo. De aquí se deduce que entre mayor sea el diámetro del material pétreo, mayor será el espesor de la carpeta y por lo tanto será más resistente, aunque esto redundaría en el costo de la obra.

Por otra parte el usar partículas grandes, la superficie obtenida presenta mayor resistencia al deslizamiento y con partículas finas se obtiene una testura cerrada, cómoda al automovilista pero peligrosa en época de lluvias.

## III - FORMA DE LAS PARTICULAS.

La forma de las partículas del material pétreo tiene gran importancia tanto en el comportamiento de la carpeta, como en la dosificación del asfalto.

Las partículas que se comportan mejor, son las que tienen formas equidimensionales, pues a la vez que proporcionan mayor resistencia, se obtienen carpetas de mejor calidad.

No siempre es posible obtener partículas equidimensionales pues depende del tipo y estado de la roca de donde se obtenga el material, y se necesitará una prueba para cuan-

tificar la forma de las partículas.

El ensaye de granulometría nos indica la distribución de tamaños de las partículas, pero no la forma de las migmas, y así sucede que dos materiales del mismo tipo y granulometría, se comporten de manera diferente si la forma de sus partículas es diferente. Una carpeta construida con partículas lajeadas requerirá mayor cantidad de asfalto y material pétreo que otra construida con idéntico material en el que la forma de las partículas sea equidimensional.

La forma de las partículas debe considerarse en forma directa en el diseño de la carpeta y además no deben admitirse materiales que contengan una considerable cantidad de partículas lajeadas o asiculares, ya que este tipo de partículas tienden a romperse, a modificar la granulometría, y a producir polvo.

Hanson, considera la forma de las partículas por medio del índice laminar, el cual a su vez interviene para encontrar la dimensión mínima promedio ó A.L.D. (Average Least-Dimension) Esta dimensión es fundamental en el diseño y se obtiene a partir del índice de lajeo y del  $D_{50}$  del material pétreo (el  $D_{50}$  es un tamaño tal que el 50% de las partículas son de ese tamaño ó menor.

El índice de lajeo se obtiene a través de una calibración de las partículas del material pétreo, usando para --

ello placas metálicas con aberturas elongadas, las cuales se usan a manera de calibradores.

En el anexo 1.a se detalla el método de prueba para obtener el índice de lajeo. El  $D_{50}$  del material se obtiene a partir de la curva granulométrica, obtenida del ensayo correspondiente. El índice de lajeo debe ser de 35% como máximo.

Con el  $D_{50}$  y el índice de lajeo se obtiene el A.L.D. usando la gráfica de la figura 1.2.

Debe hacerse notar que el A.L.D. de un agregado no pertenece constante ya que cualquier modificación en el equipo de trituración tendrá marcada influencia en el A.L.D.

#### IV - CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES DE LAS PARTICULAS.

Estas características se refieren a las particularidades que presentan la superficie de las partículas, y que afectan en gran parte el comportamiento de la carpeta, dichas características son: Limpieza, Humedad, Afinidad con el asfalto, Porosidad y Rugosidad.

A continuación se detalla cada una de estas características y su influencia en el comportamiento de la carpeta.

##### a) LIMPIEZA.

La limpieza de las partículas del material pétreo se refiere a que no contengan capas de arcilla o polvo, pues-

si así sucede es probable que falle la carpeta, ya que esa -  
 capa impide la buena adherencia entre el asfalto y el mate--  
 rial pétreo, y puede ser desprendido por el tránsito en poco  
 tiempo.

Un material pétreo con alto contenido de arcilla -  
 es preferible no emplearlo, pero si no se dispone de ningún-  
 otro material, puede emplearse, con la condición de que se -  
 elimine el polvo y la arcilla mediante un lavado.

#### b) HUMEDAD.

La humedad en el agregado pétreo, produce un efec-  
 to semejante a la capa de polvo, pues impide su adhesión con  
 el asfalto. Esta influencia de la humedad en climas calien--  
 tes no causa ningún problema, en cambio en climas húmedos y-  
 fríos sí los puede causar. De cualquier manera, si el mate--  
 rial está húmedo debe procederse a su secado por medio de mo-  
 tocomformadoras a las horas en que la temperatura ambiente -  
 sea más elevada.

La humedad permisible del material pétreo deberá, -  
 en todos los casos ser menor o igual que su humedad de absor-  
 ción.

#### c) AFINIDAD CON EL ASFALTO.

Las partículas de material pétreo pueden ser de --  
 dos tipos HIDROFILAS ó HIDROFOBAS. Se dice que un material -

si así sucede es probable que falle la carpeta, ya que esa -  
capa impide la buena adherencia entre el asfalto y el mate--  
rial pétreo, y puede ser desprendido por el tránsito en poco  
tiempo.

Un material pétreo con alto contenido de arcilla -  
es preferible no emplearlo, pero si no se dispone de ningún--  
otro material, puede emplearse, con la condición de que se -  
elimine el polvo y la arcilla mediante un lavado.

b) HUMEDAD.

La humedad en el agregado pétreo, produce un efec--  
to semejante a la capa de polvo, pues impide su adhesión con  
el asfalto. Esta influencia de la humedad en climas calien--  
tes no causa ningún problema, en cambio en climas húmedos y -  
fríos sí los puede causar. De cualquier manera, si el mate--  
rial está húmedo debe procederse a su secado por medio de mo--  
tocomformadoras a las horas en que la temperatura ambiente -  
sea más elevada.

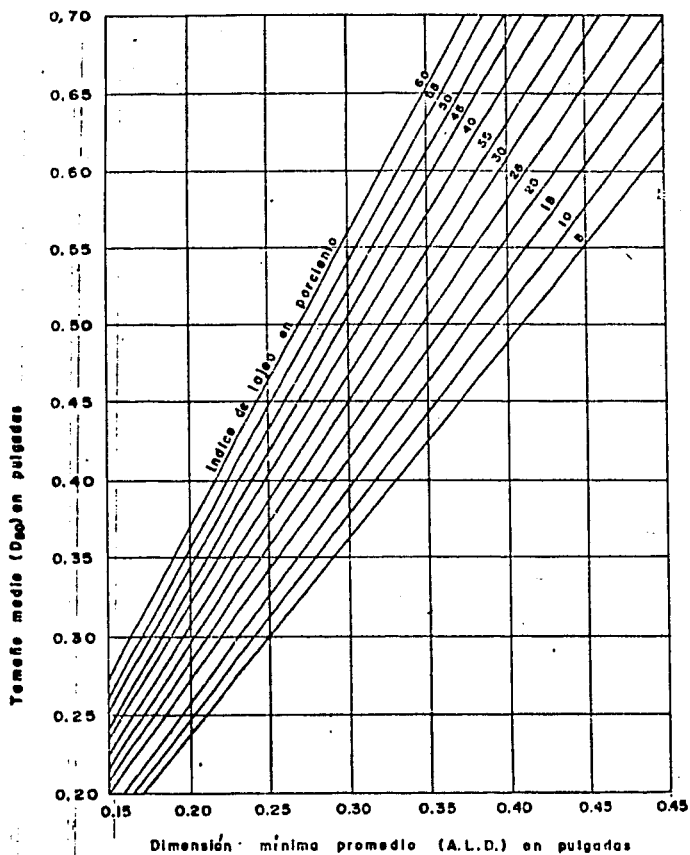
La humedad permisible del material pétreo deberá, -  
en todos los casos ser menor o igual que su humedad de absor--  
ción.

c) AFINIDAD CON EL ASFALTO.

Las partículas de material pétreo pueden ser de --  
dos tipos HIDROFILAS ó HIDROFOBAS. Se dice que un material -

Figura I-2

GRÁFICA PARA DETERMINAR LA DIMENSION MÍNIMA PROMEDIO (A.L.D.)



pétreo tiene características Hidrófilas cuando tiene más afinidad por el agua que por el asfalto, por lo que se pierde la adherencia entre el material pétreo y el asfalto. Un material de tipo Hidrófobo es el que presenta mayor afinidad por el asfalto que por el agua.

En el caso de que la adherencia entre el asfalto y el material pétreo sean desfavorables, deberá agregarse un aditivo al asfalto que mejore la adherencia, ó también se puede triturar el material, pues las superficies de las fracturas frescas se adhieren mejor al asfalto.

Para la determinación de la afinidad con el asfalto se han definido dos pruebas: La del desprendimiento por fricción y la de pérdida de estabilidad por inmersión de agua, -- las cuales se detallan en el anexo 1.b y 1.c respectivamente.

Para aceptar un material pétreo, el desprendimiento por fricción no debe exceder del 25%. La pérdida de estabilidad por inmersión no debe exceder tampoco del 25%.

#### d). POROSIDAD Y RUGOSIDAD

La rugosidad de las partículas influye en la textura de la carpeta una vez terminada. Es recomendable que las partículas tengan una cierta rugosidad para que la superficie del camino tenga características anti-derrapantes.

La porosidad de las partículas influye en cuanto a-



la cantidad de asfalto que hay que agregar, pues éstas partículas porosas absorben más asfalto que el calculado, lo que puede causar desprendimiento de partículas.

Siempre debe procurarse elegir los materiales de tal manera que su densidad sea máxima y su absorción mínima, pues estos materiales presentan menor grado de alteración y mayor resistencia estructural.

La absorción o porosidad del agregado puede medirse a través de la constante de superficie "Kc", obtenida a partir de la cantidad de aceite SAE-10 que pueden retener las partículas del agregado.

En el anexo 1.d se presenta el método de prueba para obtener la constante "Kc".

#### V- CONTRACCION LINEAL

La contracción lineal de los finos del material pétreo, nos indica la presencia de mucho o poca actividad de la arcilla que contenga. Si la arcilla se presenta en forma de película delgada adherida al material pétreo, provoca una baja adherencia del asfalto con el agregado pétreo. Si la arcilla se presenta en grumos o terrones, serán puntos débiles y de falla de la carpeta, en presencia del agua.

La contracción lineal es la disminución en una dimensión de la masa del suelo expresada como un porcentaje de la dimensión original cuando su cantidad de humedad se reduce des-

de una cantidad igual a la humedad del límite líquido del material hasta el límite de contracción del mismo.

#### VI- DURABILIDAD

El material pétreo debe ser de una calidad tal, que sea lo suficientemente durable bajo la acción del tránsito y los agentes atmosféricos.

Las pruebas que se llevan a cabo para conocer la durabilidad de un material son: DESGASTE y INTEMPERISMO ACELERADO .

Las pruebas de DESGASTE miden la abración provocada en el material pétreo por el impacto de esferas metálicas y tiene por objeto dar una idea de la presencia de planos de debilitamiento en las partículas de agregado. Las pruebas que pueden efectuarse son las de Deval ó la de los Angeles, siendo ésta última la más común pues se puede aplicar a cualquier tipo de material.

Se detalla en el anexo 1.e el procedimiento de la prueba de los Angeles siguiendo las especificaciones de la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas .

Las especificaciones a que debe sujetarse el material son:

Deval, para roca en trozos .....	6%.Máximo
Deval, para materiales graduados ..	.....10% Máximo para escorias y gravas
Deval, para materiales graduados . . . .	20% Máximo para triturados.

Prueba de los Angeles .. . . . . . 40% Máximo para cualquier tipo.

La prueba de INTEMPERISMO ACELERADO, se restringe a los materiales de dudosa calidad que presenten un desgaste elevado y una absorción relativamente grande. Esta prueba nos mide la resistencia del material a desintegrarse cuando es sometido a los esfuerzos causados por los cristales de sulfato de sodio ó de magnesio en los huecos ó fisuras del material.

El material se somete a la acción de soluciones de sulfato de sodio y de magnesio. Los cristales de estas soluciones se deforman en el interior de las fisuras del agregado y tienden a romper las partículas del agregado. Se hace una estimación de las partículas que se rompieron y el resultado se denomina "Pérdida por interperismo acelerado".

La pérdida por interperismo acelerado debe ser de -- 12% como máximo.

#### VIII- PESO VOLUMETRICO

Esta determinación se hace esencialmente para poder dosificar el material pétreo en peso ó en volumen, según convenga.

Esta determinación es muy variable pués depende de los vacíos que contenga el agregado, lo que fundamentalmente depende de las formas de las partículas y de la forma en que se acomode el material en el momento de hacer la prueba.

Para determinar el peso volumétrico puede seguirse el método consignado en el anexo 1.f.

#### VIII.- UNIFORMIDAD EN LA PRODUCCION

Es muy importante controlar la producción del material pétreo, si es que está triturado, pues cualquier variación en la forma o en el tamaño, se traducirá en un cambio en la dosificación de los materiales. Si no se tiene un control en la producción, puede darse el caso de que la cantidad de asfalto sea insuficiente, lo que ocasionará desprendimiento de las partículas, en cambio si el asfalto es excesivo, se tendrá una carpeta de baja estabilidad.

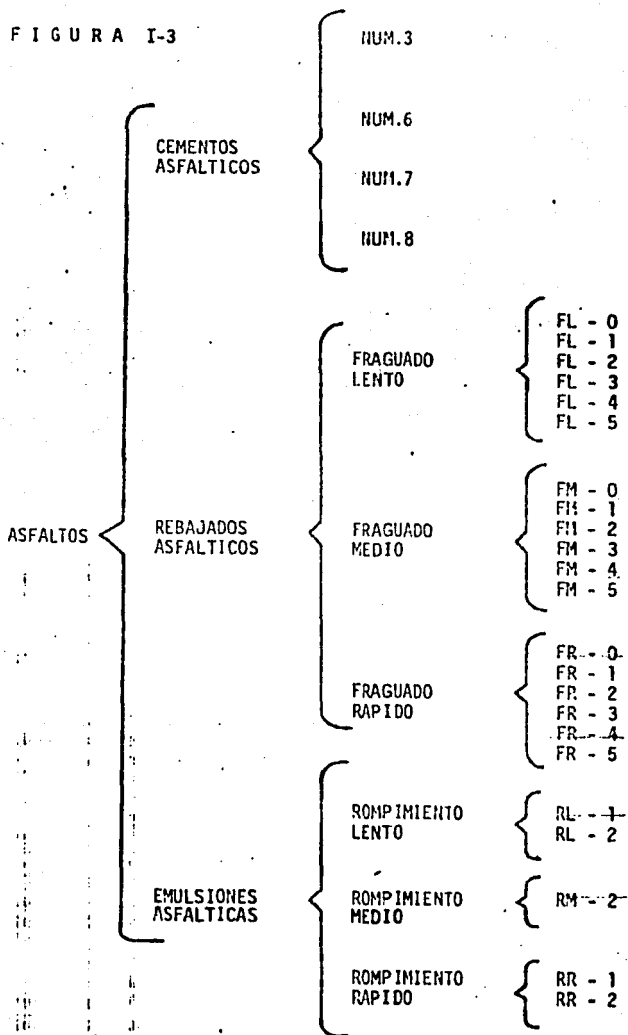
Se recomienda que se esté verificando la granulometría del material que sale de la trituradora, haciendole granulometrías y determinando el índice de lajeo, para que en el caso de que tengan una variación considerable, hacer el ajuste conveniente, ya sea en el diseño ó en la planta misma.

#### B.- PRODUCTOS ASFALTICOS

En esta parte solo se tratarán los factores que se deben tomar en cuenta para elegir el tipo de asfalto, en la figura 1.3 se indican los tipos de asfaltos más comunes en la construcción de mezclas asfálticas.

Los factores que intervienen al elegir el tipo y grado del producto asfáltico son:

FIGURA I-3



## 1.- CONDICIONES DEL CLIMA

Se distinguen dos condiciones:

- a) Clima al momento de construir
- b) Clima después de la construcción

El clima que esté haciendo al momento de construir -- la carpeta tiene gran influencia en el comportamiento futuro de la misma y a la vez influye en la elección del producto asfáltico que debe emplearse, pues es bien sabido que el asfalto conforme aumenta la temperatura aumenta su viscosidad.

Por otra parte, muy bien puede suceder que en determinado tiempo el clima sea excelente, pero al cabo de unos meses, -- las condiciones climáticas varíen radicalmente. Esta circunstancia habrá que preverla anticipadamente, pues si por ejemplo pusimos asfaltos duros en la época en que se construyó la carpeta y después hace mucho frío, el asfalto endurecerá en tal forma que se tornará quebradizo y el agregado se desprenderá de la carpeta.

En tal caso hubiera sido preferible usar un asfalto suave.

Este ejemplo ilustra la necesidad de conocer el clima de la región en las diferentes épocas del año.

Otro elemento climático desfavorable, sobre todo al momento de construir, es la lluvia, pues impide la buena adhesión entre asfalto y material pétreo.

## 2.- DENSIDAD Y VELOCIDAD DEL TRANSITO

Es necesario escoger un determinado tipo de asfalto de acuerdo a la densidad y velocidad de tránsito que tenga el camino en donde se construya la carpeta asfáltica.

A medida que aumenta la densidad y velocidad del tránsito, se hace más difícil cerrar un tramo a los vehículos, para dar tiempo a que el producto asfáltico frague y pueda retener el agregado en su lugar. Por lo que es muy importante emplear un producto que frague rápidamente, si el tránsito así lo requiere.

## 3.- CARACTERISTICAS DEL MATERIAL PETREO

Entre las características del agregado que influyen en la selección del tipo de producto asfáltico, están sus propiedades químicas.

La forma y el tamaño, así como la porosidad pueden tener alguna influencia en la selección del tipo de producto asfáltico, sin embargo éstas características afectan más bien al diseño ó dosificación.

A continuación se describen los diferentes tipos de asfaltos, dependiendo de su contenido de aceites ó solventes:

### a) Cemento Asfáltico

El cemento asfáltico es un asfalto refinado ó una mezcla de asfalto refinado y aceites solventes de consistencia adecuada para usarse en la construcción de carpetas asfálticas.

Requiere elevadas temperaturas de aplicación y transporte, por otra parte, se enfría rápidamente, por lo que eleva su viscosidad, por lo cual, si se quiere que el material pétreo sea mojado por el producto asfáltico habrá que tenderlo casi -- inmediatamente después del ligante.

Dado que la viscosidad de este producto depende únicamente de la temperatura a que se encuentra y esta varía rápidamente, su aplicación está limitada a climas cálidos.

b) Asfalto Rebajado.

El asfalto rebajado es un cemento asfáltico que ha sido disuelto, hasta una fluidez determinada, mediante el empleo de un destilado del petróleo.

Existen tres tipos de asfaltos rebajados:

El de fraguado lento

El de fraguado medio

El de fraguado rápido

El de fraguado lento, es una mezcla natural de cemento asfáltico y aceites poco volátiles.

El de fraguado medio, es una mezcla de cemento asfáltico con nafta o gasolina.

Las temperaturas de aplicación de estos productos no son excesivamente altas, lo mismo lo de transporte.

c) Emulsiones Asfálticas

La emulsión asfáltica es una combinación de agua, as--



falto y un agente emulsificante. El asfalto no se disuelve en agua, de manera que agua y asfalto permanecen en fases separadas.

Para evitar que las eferas de asfalto se unan es necesario que la emulsión contenga un agente emulsificante que se haya disuelto en la fase acuosa. Cuando se mezcla una emulsión con materiales pétreos, rompe a causa de una coagulación de las partículas de asfalto y a la consiguiente expulsión del agua interpuesta entre las partículas. La ruptura de una emulsión asfáltica es principalmente un fenómeno químico, el cual debido a la atracción natural o propiedades especiales del asfalto empiezan a manifestarse en el momento que entran en contacto con la superficie. La fuerte atracción preferente de la emulsión asfáltica desaloja en realidad el agua de la superficie, creando, por lo tanto, una unión química común, entre ella y el asfalto.

La unión es tal, que se obtiene una protección contra el desprendimiento.

Las emulsiones asfálticas pueden ser de rompimiento rápido medio y lento, pueden transportarse y aplicarse en frío o a temperaturas moderadas.

El empleo de las emulsiones asfálticas es recomendable en climas lluviosos y de bajas temperaturas.

Las temperaturas de aplicación de los diferentes pro-

ductos se muestran en la tabla 1.4. En esta misma tabla, se --  
da una guía para la elección del producto asfáltico de acuerdo--  
con la temperatura media de la superficie del camino. Estas --  
cifras deben considerarse como una guía y no como una norma rí--  
gida para elegir el tipo de asfalto, pues para ello deben balan--  
cearse los factores ya analizados. Dichas temperaturas son las  
especificadas por la Secretaría de Asentamientos Humanos y O---  
bras Públicas.

PRODUCTO ASFALTICO	TEMPERATURA DE APLICACION	TEMPERATURA DE LA SUPER- FICIE DEL CAMINO A LA -- CUAL SON APLICABLES.
CEMENTO ASFALTICO	120 - 160 °C	50 °C ó más
FR-2	40 - 60 °C	10 - 25 °C
FR-3	60 - 80 °C	25 - 35 °C
FR-4	80 - 100 °C	35 - 50 °C
FM-3	80 - 95 °C	15 - 25 °C
FM-4	90 - 100 °C	20 - 30 °C
EMULSIONES	5 - 40 °C	10 °C ó más

Tabla 1.4

ESPECIFICACIONES:

A continuación se detallan todos y cada uno de los --- requisitos que deben satisfacer los distintos tipos de asfalto - para su empleo en la construcción de carpetas asfálticas.

## CEMENTOS ASFALTICOS

CARACTERISTICAS	GRADO DEL CEMENTO			
	Num. 3	Num. 6	Num. 7	Num. 8
Penetración, 100gr, 5 seg, 25°C, grados	180 - 200	80 - 100	60 - 70	40 - 50
Viscosidad Saybol-Fural. a 135°C, seg, min.	60	85	100	120
Punto de Ignición (copa clevenland) °C	220	232	232	232
Ductilidad, 25°C, cm, mínimo.	60	100	100	100
Solubilidad en Tetracloruro de carbono en %, mínimo.	99.5	99.5	99.5	99.5
Punto de reblandecimiento, °C	37 - 43	45 - 52	48 - 56	52 - 60
Pérdida por calentamiento en %, máximo.	1.4	1.0	0.8	0.8

## CEMENTOS ASFALTICOS

CARACTERISTICAS	GRADO DEL CEMENTO			
	Num. 3	Num. 6	Num. 7	Num. 8
Penetración, 100gr, 5seg, 25°C, grado	180 - 200	80 - 100	60 - 70	40 - 50
Viscosidad Saybol-Furol. a. 135°C, seg, min.	60	85	100	120
Punto de Ignición (copa cleaveland)°C	220	232	232	232
Ductilidad, 25°C, cm, mínimo.	60	100	100	100
Solubilidad en Tetracloruro de carbono en %, mínimo.	99.5	99.5	99.5	99.5
Punto de reblandecimiento, °C	37 - 43	45 - 52	48 - 56	52 - 60
Pérdida por calentamiento en %, máximo.	1.4	1.0	0.8	0.8

Fig I - 5

**PRODUCTOS ASFALTICOS REBAJADOS**

CONCEPTO	GRADO 0			GRADO 1			GRADO 2			GRADO 3			GRADO 4		
	FR-0	FM-0	FL-0	FR-1	FM-1	FL-1	FR-2	FM-2	FL-2	FR-3	FM-3	FL-3	FR-4	FM-4	FL-4
Punto de Ignición °C, min. (Cope abierto de Teg.)	—	38	66	—	38	66	27	66	80	27	66	93	27	66	107
Viscosidad Saybolt-Furrol															
A 25° C. Seg.	75 — 160			—			—			—			—		
A 50° C. Seg.	—			75 — 150			—			—			—		
A 60° C. Seg.	—			—			100 — 200			250 — 500			—		
A 82° C. Seg.	—			—			—			—			125 — 250		
Penetración en asfalto básico	80 — 100			80 — 100			80 — 100			80 — 100			80 — 100		
Destilación: % del total destilado a 360° C.															
Hasta 190° C.	18 m	—	—	10 m	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Hasta 225° C.	66 m	25 m	—	80 m	20 m	—	40 m	10 m	—	25 m	5 m	—	8 m	0	—
Hasta 260° C.	75 m	40-70	—	70 m	25-65	—	85 m	15-55	—	65 m	5-40	—	40 m	30 m	—
Hasta 315° C.	90 m	75-95	—	88 m	70-90	—	87 m	80-87	—	85 m	55-65	—	80 m	40-60	—
Residuo de la destilación a 360° C del vat. por diferencia	80 m	—	—	80 m	—	—	87 m	—	—	73 m	—	—	78 m	—	—
Destilado total a 360° C. (% envt)	—	—	15-40	—	—	10-30	—	—	5-25	—	—	2-15	—	—	10 m
Flotación a 25° C.	—	—	15-100	—	—	20-60	—	—	25-100	—	—	50-125	—	—	70-120
Contenido de asfalto, penet-100	—	—	40 m	—	—	90 m	—	—	90 m	—	—	70 m	—	—	75 m
Penetración	60-120	120-300	—	80-120	120-500	—	90-120	120-300	—	80-120	120-300	—	60-120	120-300	—
Ductilidad en cms., mm.	1 0 0			1 0 0			1 0 0			1 0 0			1 0 0		
Solubilidad en tetracloruro (%) mín.	99.5			99.5			99.5			99.5			99.5		

Pruebas sobre producto original

NOTA: M= Máximo; m= mínimo

## EMULSIONES ASFALTICAS

CONCEPTO		TIPO	
		Fraguado Rapido	Fraguado Lento
PRUEBAS SOBRE EL PRODUCTO ORIGINAL	Viscosidad	100 max.	100 max
	Residuo por destilación.	57-68	58-60
	Demulsibilidad con 35cc % <sub>10</sub> CaCl <sub>2</sub> en % con 50cc % <sub>10</sub> CaCl <sub>2</sub> en %	3,0 max. —	— 1 min.
	Retenido en malla N.º 20 (%)	0.1 max.	0.1 max.
	Miscibilidad con el cemento %	—	2,0 max.
PRUEBAS SOBRE EL RESIDUO	Penetración	100-200	100-200
	Cenizas (%)	0.5 max.	0.5 max.

ANEXO 1.a

## DETERMINACION DEL INDICE DE LAJE0

La prueba aquí descrita tiene por objeto determinar - el porcentaje en peso de partículas lajeadas en el agregado --- empleado en la construcción de carpetas asfálticas. Se define- como partículas lajeadas aquellas cuyo espesor es menor que - - 0.6 veces su tamaño medio. Para efectos de esta prueba, el ta- maño medio de una fracción de agregado, se define como el prome- dio de las aberturas de dos mallas consecutivas entre las cua- les se detiene dicha fracción al cribarse.

## a) El equipo necesario será:

Placa metálica del Núm. 16 con dos ranuras elonga- das de 40 x 6.7 mm y de 30 x 4.3 mm.

Un juego de mallas.

Horno que pueda mantener una temperatura entre 100 y 110 grados centígrados.

Vasos de aluminio de 500 cm<sup>3</sup>. de capacidad.

Charolas de lámina galvanizada.

## B) Para efectuar la prueba, se toma una muestra repre- sentativa de 1000 gr. de material pétreo, la cual- se lavará y secará hasta peso constante. Por cuar- teo, se formarán cuatro especímenes de 250 grs. ca- da uno.



A cada uno de los especímenes se le efectuará la --- prueba de granulometría, separándose las fracciones de 1/2" a 3/8" y de 3/8" a No. 4 determinando el peso de cada una de ellas, llamémoslos W1 y W2 respectivamente.

La fracción de peso W1 se calibra a través de la --- abertura 40 x 6.7 mm., pesándose las partículas que pasen por dicha abertura; llamemos a este peso P1.,- se hace lo mismo con la fracción de peso W2., llamando el peso de las partículas que pasan por la abertura de 30 x 4.3mm. P2.

Se consideran partículas lajeadas, aquellas que pueden pasar la ranura elongada con la cual han sido comparadas.

El peso de las partículas lajeadas dividido por el peso de las partículas probadas, multiplicado por 100, se define como " INDICE DE LAJEO ".

$$\text{INDICE DE LAJEO} = \text{I.L.} = \frac{P1}{W1} \times \frac{P2}{W2} \times 100$$

Se ensayarán los cuatro especímenes, reportando el valor medio del índice de lajeo.

ANEXO 1.b

## PRUEBA DE DESPRENDIMIENTO POR FRICCIÓN

a) El equipo para la prueba será:

Un frasco de vidrio de 500 cm<sup>3</sup>. con tapa hermética.

Un dispositivo mecánico para hacer la agitación de la mezcla.

Charolas de lámina.

Una balanza con aproximación de un décimo de gramo.

Una cuchara de albañil.

Una parrilla eléctrica.

Un termómetro con graduación de 0 a 150 grados centígrados.

Mallas de las siguientes denominaciones: 1/2", 1/4", Núm. 10 y Núm. 40.

## VARIANTE I:

El procedimiento de prueba comprende la verificación por duplicado de las pruebas de desplazamiento por fricción, tomando como testigo un material que haya probado tener buena afinidad con el asfalto. Para asegurar la misma graduación del agregado pétreo en todas las mezclas de prueba, deberá cribarse en seco una muestra de material a través de las mallas 1/2",

1/4", Núm. 10 y Núm. 40, para obtener muestras de material de diferentes tamaños, de las cuales se tomarán las cantidades correspondientes, de acuerdo con la granulometría proyectada del material pétreo, para combinarlos y formar 6 mezclas con peso aproximado de 500 gr. cada uno. En esta forma, se disminuyen considerablemente las discrepancias en los resultados, ocasionadas por variaciones en la granulometría.

A cada una de las 6 muestras de material pétreo deberá agregarse la cantidad de producto asfáltico que corresponde a los siguientes contenidos de cemento asfáltico, expresados como porcentajes del peso del material pétreo.

Dos muestras con el contenido calculado + 0.5 %

Dos muestras con el contenido calculado + 1.0%

El producto asfáltico se agregara paulatinamente al material pétreo y se manipulará con la cuchara de albañil para lograr una distribución uniforme del primero, de manera de obtener una película delgada. Para compensar la pérdida de temperatura durante el proceso de incorporación del asfalto, será necesario colocar por breves instantes, la charola con la mezcla sobre la parrilla eléctrica. No deberá excederse la temperatura de aplicación del producto. En el caso de los asfaltos rebajados, es necesario conocer la acción de los solventes en la adherencia entre el asfalto y el agregado pétreo, para lo cual una mezcla se probará con la cantidad de solventes necesaria para la compactación y la otra, elaborada con el mis

mo porcentaje de asfalto, se ensayará después de haber eliminado la mayor parte de los solventes, según se indica a continuación.

Aplicando la fórmula:

$$(Ps - K Pc)$$

Se obtiene la cantidad, en peso, de solventes que es necesario eliminar para obtener las consistencias necesarias para verificar la prueba.

Ps = Peso del solvente que contiene el producto original en gramos.

Pc = Peso del cemento asfáltico que contiene el producto original en gramos.

K = Coeficiente que, multiplicado por el peso del cemento asfáltico, da la cantidad de solventes que deben quedarse en la mezcla.

Para la primera condición, o sea la que corresponde a la consistencia adecuada para la compactación de la mezcla deberá utilizarse un valor de  $K = 0.10$  para asfaltos FR y  $K = 0.14$  para asfaltos FM. Para las mezclas que se van a probar con menor contenido de solventes, se empleará  $K = 0.08$  para FM. La eliminación de los solventes para ambas condiciones se hará colocando la mezcla en un horno a una temperatura entre 40 y 50 grados centígrados, siendo pesadas con frecuencia, con objeto de suspender la operación de curado cuando se haya elimina-

do la cantidad calculada de solventes. Al ocurrir ésto, las -  
charolas se dejarán a la temperatura ambiente, el tiempo neces-  
sario para que la muestra se enfríe. De cada una de las mues-  
tras ya frías se seleccionarán dos muestras de 50 gr. aproxima-  
damente, de material de tamaño comprendido entre las mallas de  
1/2" y de 1/4 las cuales se colocarán en los frascos de vidrio,  
se añadirán 200 cm<sup>3</sup>. de agua pura o destilada y se tapanán her-  
méticamente los frascos que se dejarán en reposo durante 24 -  
hrs. Si el desprendimiento de asfalto es de consideración, el  
material puede considerarse como altamente hidrófilo. Si no -  
ha ocurrido un desprendimiento apreciable de la película de --  
asfalto, los frascos con su contenido deberán agitarse vigorosa-  
mente por tres períodos de 5 minutos cada uno, debiendo ser-  
examinadas las muestras después de cada período; si no se nota  
un desprendimiento de asfalto al terminar el tercer período de  
agitación, puede considerarse que el material trabajará satisfac-  
toriamente, y se considerará como de " adherencia normal con  
el asfalto". En caso contrario se considerará al material pé-  
treo una adherencia "regular o baja", de acuerdo con el des-  
prendimiento ocurrido, y será necesario aumentar la adherencia  
agregando algún tipo de aditivo.

#### VARIANTE II

El procedimiento de prueba a seguir es el mismo indi-  
cado en la variante 1, excepto en lo concerniente a la agita---

ción, que en este caso se efectuará en un aparato que gira de 40 a 50 revoluciones por minuto. Las muestras se sujetarán a un período de agitación de 15 minutos y por inspección visual se determinara aproximadamente el porcentaje del area cubierta en que ha habido desprendimiento. Si este no es de consideración se repetirá el proceso tres veces más hasta completar una hora, haciendo las inspecciones correspondientes al final de cada período. Al finalizar el período de cada agitación se observará la cantidad de asfalto desprendido y se calculará en forma aproximada el porcentaje de la superficie total de agregado en que ha ocurrido desprendimiento de la película de asfalto.

Se comparará el desprendimiento habido con el material testigo. Si el comportamiento del agregado es semejante al del testigo, o el desprendimiento no excede de un 10% de la superficie, se reportará una adherencia normal con el asfalto. Si la superficie en que ocurrió el desprendimiento sobrepasa a un 25% de la superficie total del agregado, éste se clasificará como de baja "adherencia con el asfalto", y en la condición intermedia ( 10 - 25 % ) se considerará al material pétreo una adherencia "regular con el asfalto".

ANEXO 1. cPRUEBA DE LA PERDIDA DE ESTABILIDAD POR INMERSION  
DEL ESPECIMEN EN AGUA

a) El equipo de prueba será:

Un molde metálico de 4 " de diámetro interior y 7" de altura provisto de una base metálica removible y una placa circular para compactar, que pueda sujetarse a la cabeza de aplicación de la carga.

Un molde metálico de 5 " de diámetro interior y 8.5"-de altura, provisto de una base metálica removible y de una placa circular para la compactación, que se pueda sujetar a la cabeza de aplicación de la carga.

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

Una varilla metálica para el picado del material.

Una cuchara de albañil.

Una balanza de 10 Kgs. con sensibilidad de un gramo.

Una balanza con sensibilidad de un centésimo de gramo.

Un horno con temperatura controlable.

Un termómetro con graduación de 10 a 150 grados centí-  
grados

Vasos de precipitado.

Un tanque de saturación.

b) El procedimiento de prueba será como sigue:

Se elaborarán 6 especímenes siguiendo el procedimiento descrito en el método de la prueba de compresión sin confinar, utilizando la cantidad de producto asfáltico que corresponde a los siguientes contenidos de cemento asfáltico, expresados como porcentajes del peso del material pétreo.

Dos muestras con el contenido calculado + 0.5%

Dos muestras con el contenido calculado + 1.0%

De los especímenes elaborados, cuando han alcanzado todos ellos la temperatura ambiente se seleccionará un espécimen de cada contenido de asfalto empleado, para ser probado a la compresión sin confinar, aplicando la carga uniforme lentamente hasta alcanzar la ruptura. Los especímenes restantes serán colocados en el tanque de saturación y se mantendrán sumergidos en agua durante un período de 4 días; transcurrido dicho tiempo, se sacarán del tanque de saturación y se probarán a la compresión sin confinar en las mismas condiciones que los especímenes que no fueron saturados. Es importante que la temperatura de los especímenes al momento de hacer la prueba sea la misma en ambos casos. Se calculará la resistencia unitaria de cada espécimen, la cual se expresará como porcentaje de las resistencias obtenidas en los especímenes que se probaron sin saturar, para cada uno de los contenidos de asfalto respectivos. La diferencia a 100 de este valor, expresará el porcentaje de



pérdida de estabilidad sufrida por el efecto de saturación. Si la pérdida de estabilidad es menor del 25%, puede considerarse que el comportamiento de la mezcla asfáltica en el camino va a ser satisfactorio. Si la pérdida de estabilidad es mayor -- del 25%, deberá iniciarse una investigación para ver si la mezcla requiere: el empleo de aditivos, la trituración del agregado pétreo, cambio de producto asfáltico o la sustitución de materiales.

ANEXO 1.d

## DETERMINACION DE LA CONSTANTE DE SUPERFICIE "Kc"

Esta prueba tiene por objeto determinar la porosidad del material pétreo a través de la constante de superficie "Kc".

a) El equipo a emplear es el siguiente:

Un juego de mallas.

Balanza de 0.01 gr. de aproximación.

Horno de temperatura regulable.

Vasos de precipitado.

Embudo de 10 cm. de diámetro superior.

Aceite lubricante de viscosidad SAE-10.

La prueba se ejecuta de la siguiente manera:

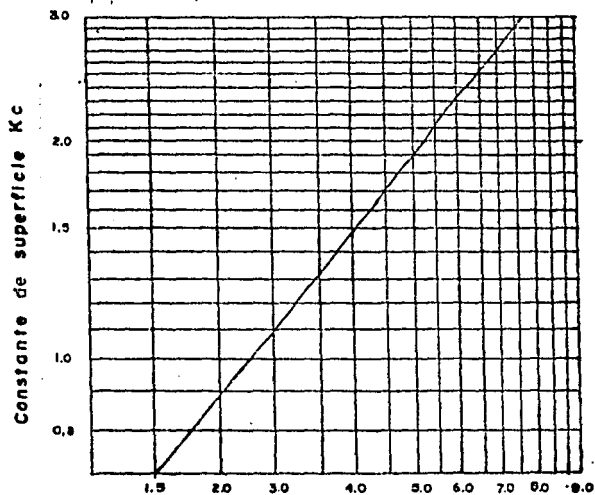
Se toma una muestra representativa de 100 gr. que pasa la malla 3/8" y se retenga en la Núm. 4, la cual deberá lavarse y secarse a 100-110 grados centígrados.

Se coloca la muestra en el embudo y se sumerge en el aceite lubricante durante 5 minutos a la temperatura ambiente, al cabo de los cuales se extrae, limpiando el embudo de aceite. Se coloca el embudo en un vaso y se mete al horno a una temperatura de 60°C por 15 minutos. Se pesa nuevamente el agregado y por diferencia de pesos se calcula el aceite absorbido por el material. El aceite retenido por el agrega-

absorbido por el material. El aceite retenido por el agregado se expresará como porcentaje del peso seco del material y se corregirá por densidad de la siguiente forma:

$$\% \text{ Aceite retenido corregido} = \% \text{ Aceite retenido} \times \frac{\text{Densidad del material}}{2.65}$$

Una vez obtenido el porcentaje de aceite corregido, se entra a la gráfica de la figura 1.d.1 para obtener la constante de superficie "Kc".

NOMOGRAMA PARA DETERMINAR EL VALOR DE  $K_c$  DEL AGREGADO PETREO

% Aceite retenido corregido por densidad del agregado

figura 1.d.1,

ANEXO 1.e

## PRUEBA DE DESGASTE " LOS ANGELES "

Esta prueba tiene por objeto conocer la calidad del material pétreo desde el punto de vista de su desgaste ya sea por el grado de alteración del agregado, por la presencia de planos débiles y aristas de fácil desgaste. Cuando se trata de analizar el desgaste de piedras en trozos se emplea la maquina Debal, pero cuando se trata de agregados se emplea la maquina Los Angeles, denominandose al resultado Desgaste Los Angeles. La prueba se ejecuta de la manera siguiente: La muestra a ensayar se lava para eliminar el polvo que tenga adherido y luego se seca a peso constante con un horno y después se criba a través de las mallas 3", 2 1/2", 1 1/2", 1", 3/4, 1/2, Núm. 3, Núm. 4 Núm. 8 y Núm. 12 para conocer su graduación.

En la tabla 1.e.1 viene detallado para cada tipo de granulometría, (dependiendo si es para terracería, pavimento, sello, etc.) los datos con que se ejecutará la prueba, correspondiendo al renglón "B" a carpetas asfálticas.

La muestra seleccionada se pesa (P1), se coloca junto con las esferas en la maquina y ella se hace girar hasta completar las revoluciones especificadas. Se saca la muestra-

de la máquina y se lava a través de la malla Núm. 12 secando - el retenido de esta en un horno y se pesa (P2). La pérdida por desgaste será:

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{P1 - P2}{P1} \times 100$$

TIPO	T A M A Ñ O	CANTIDAD EN GRS. DE LA MUESTRA	CARGA ABRASIVA		NUMERO DE - REVOLUCIONES
			No. DE ESFERA	PESO EN GRS.-	
A	De 38.1 mm. (1 1/2") a 25.4 mm. (1")	1250	12	5000 ± 25	500
	De 25.4 mm. (1") a 19.05 mm. (3/4")	1250			
	De 19.05 mm. (3/4") a 12.7 mm. (1/2")	1250			
	De 12.7 mm. (1/2") a 9.52 mm. (3/8")	1250			
B	De 19.05 mm. (3/4") a 12.7 mm. (1/2")	2500	11	4584 ± 25	500
	De 12.7 mm. (1/2") a 9.52 mm. (3/8")	2500			
C	De 9.52 mm. (3/8") a No. 3	2500	8	3330 ± 20	500
	De No. 3 a No. 4	2500			
D	De No. 4 a No. 8	5000	6	2500 ± 15	500
E	De 76.2 mm. (3") a 63.5 mm. (2 1/2")	2500	12	5000 ± 25	1000
	De 63.5 mm. (2 1/2") a 50.8 mm. (2")	2500			
	De 50.8 mm. (2") a 38.1 mm. (1 1/2")	5000			
F	De 50.8 mm. (2") a 38.1 mm. (1 1/2")	5000	12	5000 ± 25	1000
	De 38.1 mm. (1 1/2") a 25.4 mm. (1")	5000			
G	De 38.1 mm. (1 1/2") a 25.4 mm. (1")	5000	12	5000 ± 25	1000
	De 25.4 mm. (1") a 19.05 mm. (3/4")	5000			

TABLA 1.e.1

ANEXO 1.f

## DETERMINACION DEL PESO VOLUMETRICO

El objeto de esta prueba es hacer conversiones de pesos de material a volúmenes.

Se toma por cuarteos una muestra representativa del material, se seca y se disgrega para luego llenar un recipiente de volumen conocido, dejando caer el material desde una altura de unos 20 cm. y dejándolo que se acomode libremente. -- Posteriormente se enrrasa el molde. Después se pesa el material y se le descuenta el peso del recipiente y se divide entre el volumen del recipiente, obteniendose así el peso volumétrico seco y suelto.

$$P.V.S.S. = \frac{\text{Peso del material}}{\text{Volumen}}$$



## C A P I T U L O   I I

### METODOS DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS

#### a) OBTENCION, ENVASE, IDENTIFICACION, TRANSPORTE Y PREPARACION DE LAS MUESTRAS.

Es condición indispensable que las muestras obtenidas de mezclas o carpetas asfálticas, sean representativas del conjunto muestreado. En la obtención de las muestras se presentan los siguientes casos:

1.- Muestras en plantas mezcladoras estacionarias, ya sea de producción continua o discontinua.

En plantas de producción continua, el muestreo se hará interceptando en la descarga la corriente de mezcla, para tomar fracciones de muestra a intervalos regulares, aproximadamente de 10 minutos cada uno. Para este objeto se empleará una charola y las fracciones de muestras obtenidas en un período no menor de una hora, se mezclarán y cuartearán para obtener una muestra representativa de la producción en dicho período.

En plantas de producción discontinua se tomará una --- fracción de muestra de cada cinco bachas. La obtención de estas fracciones de muestra se hará por medio de una pala o cucharón metálico, directamente del montón que se acabe de descargar al camión, tomando material en distintos lugares y a diferentes alturas. Estas fracciones cuyo número no deberá ser menor de cin--

co, se combinarán en una charola que se cubrirá con una lona para evitar contaminaciones, y después de ser mezcladas se cuartearán para obtener una mezcla representativa.

2.- Si se trata del muestreo de mezclas hechas en el lugar, deberán tomarse muestras del camellón de mezcla asfáltica, una vez que se haya terminado el mezclado, para lo cual por medio de una pala de mano, se hará un canal normal a la dirección del camellón. El material extraído en esa forma, se cuarteará para obtener una muestra de 3 Kgs. Se deberá tomar una muestra por cada 30 m<sup>3</sup> de mezcla preparada. Se podrá formar una sola muestra representativa, combinando hasta cinco de las muestras anteriores o bien, podrán constituir muestras individuales de acuerdo con la finalidad del muestreo.

3.- Cuando el muestreo sea en almacenamientos de mezcla asfáltica, sobre el talud de la mezcla asfáltica almacenada, en el lugar seleccionado para obtener la mezcla, deberá eliminarse la costra intemperizada para después, haciendo un canal extraer la muestra que después de ser cuarteada deberá tener un peso no menor de 3 Kgs. por cada 30 m<sup>3</sup> de mezcla almacenada deberá tomarse una muestra.

4.- Si el muestreo es en carpetas construídas con anterioridad, en el lugar seleccionado para tomar la muestra se marcará un cuadro de 20 cm. de lado, aproximadamente. Con -

ayuda de un cincel se hará un corte en todo el espesor de la --  
carpeta, teniendo cuidado al tomar la muestra de eliminar el ma-  
terial de la base que estuviere adherido. El muestreo de carpe-  
tas también podrá hacerse por medio de una máquina muestreadora  
para obtener corazones, o con otra máquina cortadora adecuada -  
al objeto, prncipalmente cuando se trate de muestras para de--  
terminación del peso volumétrico alcanzado por la carpeta. La -  
frecuencia del muestreo y la elección de los lugares en que ---  
deberán obtenerse las muestras, estará gobernada por el tipo de  
estudio, ya que estas muestras se destinarán generalmente a la-  
investigación de las causas que provocaron las fallas de la car-  
peta.

El envase y la identificación de las muestras se hará  
de la siguiente manera:

Las muestras deberán envasarse en recipientes de lá-  
mina provistos de tapa y con cierre hermético, los que se des-  
tinen a muestras en que vaya a determinarse la humedad y la --  
cantidad de solventes.

Cuando el laboratorio esté cercano al sitio de obten-  
ción de la muestra como puede ser el caso de las plantas esta-  
cionarias, las muestras podrán tomarse y transportarse en cha-  
rolas que se cubrirán con una lona para evitar contaminacio --  
nes. Se colocará una tarjeta de identificación en el interior-

de la charola, y se fijará otra en la parte exterior, que deberán contener los siguientes datos:

1.- En el muestreo de mezclas elaboradas en planta - estacionaria:

Obra.

Ubicación de la planta

Número de la muestra

Hora en que se inició el muestreo

Hora en que se terminó el muestreo

Turno y fecha.

Nombre del operador

2.- En el muestreo de mezclas elaboradas en el lugar:

Obra

Ubicación de la sección muestreada, o del tramo que representa la muestra.

Número de la muestra

Fecha

Nombre del operador

3.- En el muestreo de carpetas construídas con anterioridad:

Obra

Ubicación del sondeo

Número de la muestra

Espesor de la carpeta.

Tipo de carpeta y condiciones en que se encuentra

Fecha

Nombre del operador,

El transporte de las muestras al laboratorio se hará tomando las precauciones necesarias, para evitar contaminaciones o pérdidas de humedad y solventes cuando vaya a efectuarse dichas determinaciones.

En la preparación de las muestras de mezclas asfálticas se consideran dos casos:

1.- Cuando se trate de muestras en que no vaya a determinarse la humedad y el contenido de solventes, se deberá calentar la muestra en una charola colocada directamente sobre el fuego; procurando elevar la temperatura únicamente lo necesario para facilitar el mezclado de la muestra. Este deberá hacerse manipulando con una espátula hasta conseguir la homogenización de la muestra, después de lo cual se procederá a su cuarteo para obtener la cantidad necesaria para los ensayos. El cuarteo de la muestra se hará formando un cono truncado con toda la muestra, dividiéndolo en cuadrantes y tomando la muestra de dos cuadrantes opuestos. Esta operación deberá repetirse el número de veces necesario hasta obtener la cantidad de muestra deseada.

2.- Cuando se trate de muestras para determinación-

de humedad y contenido de solventes en la mezcla, deberá procederse al cuarteo de la muestra inmediatamente, hasta obtener unos 500 a 600 grs. de muestra. El procedimiento de cuarteo se rá el mismo indicado en el párrafo anterior.

En la preparación de la muestras de carpetas cons---truidas con anterioridad, las muestras deberán disgregarse evi---tando que se fracturen las partículas de material pétreo; la muestra ya disgregada, se reducirá por cuarteo hasta obtener la cantidad deseada. Para ello se seguirá el procedimiento indicado en en número 1.-, o se utilizará un partidor de muestras.

- b) PROCEDIMIENTO PARA CALCULAR EL CONTENIDO MINIMO DE ASFAL--TO EN EL PROYECTO DE MEZCLAS ASFALTICAS, POR MEDIO DE FORMULAS EMPIRICAS Y SU APLICACION EN EL CONTROL DE LA ELABORACION DE LAS MISMAS.

#### METODO I

Cálculo del contenido mínimo de asfalto en materia - les graduados que contienen finos.

Paso 1: Se estima la superficie total del agregado - pétreo en función de su granulometría.

Paso 2: Conocida el área total para 1 kg., se obten---drá el contenido mínimo de asfalto multiplicando dicho valor - por el índice asfáltico.

Paso 3: Para calcular la superficie total del agre---gado se emplearán las constantes de área que se dan en la ta -

## bla II.1

Paso 4: La determinación del porcentaje de asfalto - se hará calculando los contenidos parciales para los tamaños - señalados en la tabla II.1, multiplicando el porcentaje de material de cada tamaño por la constante de área correspondiente, y este producto se multiplicará por el índice asfáltico -- que deba aplicarse a cada una de las fracciones. La suma de -- los contenidos parciales dará el contenido total de la mues -- tra. El valor del índice asfáltico varía con la rugosidad y -- porosidad del agregado pétreo, aplicándose los valores medios -- que se dan en la tabla II.2 de este inciso.

## M A T E R I A I .

		Constante
Pasa Malla	Se retiene en malla	de área m <sup>2</sup> /kg.
38.1 mm. (1 1/2")	19.05 mm. (3/4")	0.27
19.05 mm. (3/4")	Núm. 4	0.41
Número 4	Núm. 40	2.05
Número 40	Núm. 200	15.38

TABLA II.1

## M A T E R I A L

INDICE

ASFALTICO

Gravas o arenas de río o material redondeado..... 0.0055

Gravas angulosas o redondeadas, trituradas, de baja absorción .....	0.0060
Gravas angulosas o redondeadas, de alta absorción, y - rocas trituradas de absorción media .....	0.0070
Rocas trituradas de alta absorción.....	0.0080

TABLA II.2

Estos valores están dados en Kgs. de cemento asfáltico por m<sup>2</sup> de superficie de agregado pétreo. Se considera baja absorción a la que es menor de 2%, absorción media a la comprendida entre 2 y 4% y absorción alta a la que es mayor de 4%.

## METODO II

Cálculo del contenido mínimo de asfalto en materiales graduados que contienen pocos finos.

Se usa la fórmula:

$$A = 0.020 a + 0.045 b + cd$$

Siendo:

A= Contenido de asfalto (expresado como cemento asfáltico) referido al peso del agregado.

a= porcentaje del material retenido en la malla número 10.

b= por ciento de material que pasa la malla Núm. 10- y se retiene en la malla número 200.

c= por ciento de material que pasa la malla Núm. 200



d= Coeficiente asfáltico que varía con las características del material, de acuerdo con los datos de la tabla II.3, dada a continuación.

M A T E R I A L

	d
Gravas y arenas de río con materiales redondeados de baja absorción .....	0.15
Gravas trituradas de baja absorción .....	0.20
Rocas trituradas de absorción media .....	0.30
Rocas trituradas de alta absorción .....	0.35

TABLA II.3

Para expresar el contenido asfáltico sobre la base de producto asfáltico, ya sea esta proporción dada en peso o en volumen, se procederá en la misma forma explicada en el método I.

Cuando se utiliza asfalto sólido en la elaboración de la mezcla, el valor de A deberá multiplicarse por 1.25.

Método para hacer correcciones al contenido óptimo de asfalto cuando hay variaciones en la granulometría.

Para esto se utilizan las constantes de las tablas II.1 y II.2. Dividiendo el contenido óptimo de asfalto ya determinado por los métodos anteriormente descritos, entre la superficie total del agregado con que se hicieron dichas pruebas, se obtiene un valor promedio del índice asfáltico, que -

será el que se utilice para calcular el nuevo contenido óptimo de asfalto.

c) DETERMINACION DEL CONTENIDO OPTIMO DE ASFALTO POR EL PROCEDIMIENTO DE ABSORCION DE KEROSINA.

Este método consiste en una mediación indirecta del efecto combinado de los siguientes factores, en la determinación del contenido óptimo de asfalto en mezclas con agregados graduados: Superficie total del agregado, rugosidad de la superficie de la partícula y porosidad del agregado. Para cuantificar este efecto y obtener una correlación entre los resultados de esta prueba y los de la prueba de estabilidad, se elimina por centrifugación cierta cantidad de la kerosina absorbida por el agregado pétreo que pasa la malla Núm. 4 habiéndose encontrado que es necesario aplicar durante dos minutos una fuerza centrífuga equivalente a 400 veces la producida por el campo gravitatorio terrestre.

El equipo de prueba será:

- Una centrífuga con capacidad para operar con muestras de -- 100 grs. a una velocidad angular dada por la fórmula:

$$\text{RPM} = \frac{5,512,000}{R}$$

R

la cual se explicará mas adelante.

- Un juego de mallas de las siguientes denominaciones: 1", 3/4" 3/8", Núm. 4, Núm. 40, y Núm. 200 .
- Vasos de precipitado.
- Kerosina.
- Aceite lubricante con viscosidad SAE de 10.
- Un embudo de 10 cms. de diámetro superior.
- Una balanza con sensibilidad de 1 centésimo.
- Un horno con temperatura controlable.

El desarrollo de este método se detalla a continuación:

La relación que existe entre el contenido óptimo -- de producto asfáltico y la superficie total del agregado, se expresa por la fórmula general:

$$\text{Contenido óptimo de producto asfáltico} = 0.0067 \text{ Km} \sqrt{A}$$

Km = constante de superficie del agregado.

A = superficie total del agregado.

Para el agregado que pasa la malla número 4, considerado individualmente, ésta fórmula se convierte en:

$$\text{Contenido óptimo de producto asfáltico} = 0.0067 \text{ Kf} \sqrt{A_f}$$

Kf = constante de superficie del agregado que pasa la malla número 4.

Af = área total del agregado que pasa la malla Núm.

4.

Por otra parte, la relación entre el contenido óptimo del producto asfáltico y el valor del equivalente de kerosina--centrifugada (EKC) para agregados que pasan la malla número 4 - se expresa por la fórmula:

$$\text{Contenido óptimo de producto asfáltico} = \frac{0.85 \text{ EKC} + 2.5}{100}$$

Siendo la superficie del agregado retenido en la malla número 4 pequeña, en relación con la superficie del agregado que pasa la malla número 4, es válido hacer la siguiente consideración:

$$A_f = \frac{A \times 100}{P_f}$$

$P_f$  = porcentaje de material que pasa la malla Núm. 4.

En el caso de que las características de la superficie del material que pasa la malla número 4 sean iguales a las del agregado retenido en dicha malla, el valor de la constante  $K_m$  es sensiblemente igual al valor de la constante  $K_f$ . En estas condiciones y haciendo la consideración correspondiente a la fórmula anterior, el valor del contenido óptimo de producto asfáltico para una mezcla con agregados graduados es:

$$\text{Contenido óptimo de producto asfáltico} = \frac{0.85 \text{ EKC} + 2.5}{100} \sqrt{P_f / 100}$$

Cuando el caracter de la superficie del agregado retenido en la malla número 4 sea marcadamente diferente al del material que pasa dicha malla, hay que encontrar un valor de la constante de superficie  $K_m$  del agregado total, que combine los valores  $K_f$  del material fino y  $K_c$  del agregado retenido en la malla número 4. La constante  $K_c$  se determina por la absorción de aceite del agregado grueso, lo cual se explicará mas adelante, y la constante  $K_m$  se determina mediante el monograma de la figura II.4 en función de los valores de  $K_f$  y  $K_c$ .

En el método de prueba se considerarán dos variantes:

1.- Para materiales en que el agregado grueso (retenido en la malla número 4) sea de las mismas características físicas que el agregado fino.

a) Se determinará el retenido en la malla número cuatro en una muestra representativa del material. Se pesarán --- 100 gr. de material seco que pasa la malla número 4 y se colocará en el recipiente de la centrifuga, previamente tarado al que se ha adaptado un papel filtro y una malla metálica. Deberá colocarse el fondo del recipiente perforado en kerosina hasta que se logre la saturación del agregado.

b) Se centrifugará la muestra saturada durante dos minutos a una velocidad angular que se calcula con la fórmula:

$$(RPM)^2 = \frac{5,512.000}{R}$$

Donde:

RPM= revoluciones por minuto de la centrifuga.

R= Radio medio del centro de rotación al centro de gravedad de la sección transversal de la muestra, en centímetros.

c) Se pesará la muestra después de centrifugarla, y se calculará el porcentaje de kerosina retenida sobre la base del peso seco del agregado. Este valor es el equivalente de kerosina centrifugada, que denominaremos EKC.

d) Se corregirá éste valor (EKC) si la densidad del agregado es diferente de 2.65, usando, la escala E del monograma de la figura II.5.

e) Usando este valor corregido del EKC y el porcentaje del material retenido en la malla 4, se encontrará en la escala B del monograma citado, el porcentaje requerido de producto asfáltico, expresado en peso del agregado pétreo.

Este valor se aplicará a asfaltos líquidos que tengan una viscosidad Sybolt- furol de 100 a 1000 segundos a sesenta grados centígrados.

Para otros productos se aplicará la corrección indicada en el monograma de la figura II.6. El procedimiento anteriormente descrito se aplicará para determinar el contenido óptimo de producto asfáltico, mediante la determinación de valor de --

EKC. Cuando el problema es de control, y habiéndose ya determinado el contenido óptimo de producto asfáltico para un tipo de material pétreo, se requiere únicamente hacer las correcciones correspondientes cuando se presenten variaciones en la granulometría. Se hará uso del monograma de la figura II.7, para calcular el valor  $K_f$  de la constante de superficie del agregado.

En función de este valor y de el de la superficie total del agregado, calculada de acuerdo con lo indicado en el método I (fórmulas empíricas) se determinará el contenido óptimo de producto asfáltico por medio del monograma de la figura II.5, en la forma que allí se indica.

2.- Para materiales en que el agregado grueso (retenido en la malla número 4) es de características físicas diferentes a las del agregado fino.

En este caso, además de determinar el valor de la constante de superficie  $K_f$  del agregado fino a partir del valor de EKC, será preciso determinar el valor de la constante de superficie del agregado grueso,  $K_c$  y, en función de ambos valores, determinar el valor de la constante  $K_m$ , que es la constante de área de los dos agregados combinados.

Para determinar el valor de  $K_f$ , se emplea el monogra

# PROGRAMA PARA CALCULAR Km EN FUNCION DE LOS VALORES DE Kf Y Kc

Si  $(Kc - Kf)$  es negativa, la corrección es negativa  
Si  $(Kc - Kf)$  es positiva, la corrección es positiva  
 $Km = Kf + \text{corrección a } Kf$

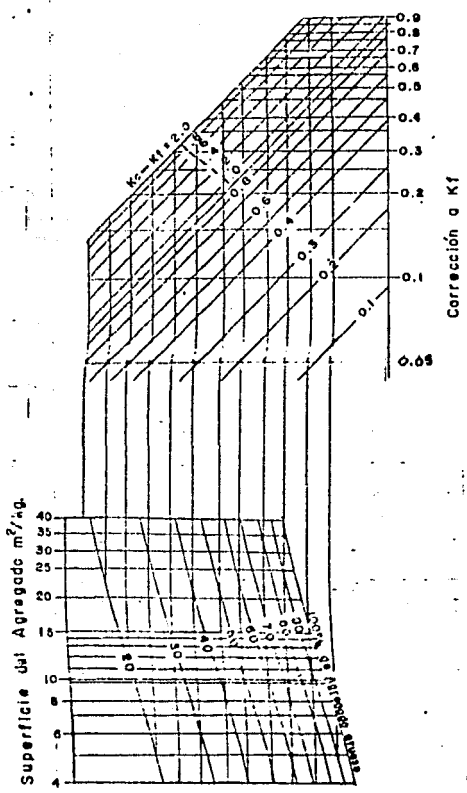


FIG. II-4



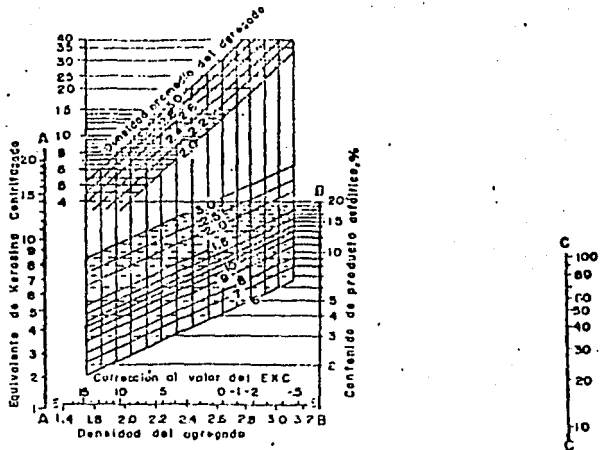


FIG. II - 5

NOMOGRAMA PARA CALCULAR EL PORCENTAJE DE PRODUCTO ASFALTICO EN MEZCLAS DE GRADUACION CERRADA.

Procedimiento.

Caso 1.- Datos:

Densidad del agregado y porcentaje que pasa la malla No.4  
Corrijese al valor del EKC como se indica en la escala E  
Llévese dicho valor a la escala A y únase con una recta  
este punto con el correspondiente al porcentaje que pasa  
malla 4 en la escala C: La intersección con la escala B  
es el valor buscado.

Caso 2.- Datos:

Superficie del agregado, densidad y valor de Km.  
Del punto correspondiente a la superficie del agregado en la  
escala D, se lleva una horizontal hasta cortar la recta  
que corresponda a su densidad. De esta intersección se  
lleva una vertical hasta cortar la recta del valor de  
Km y de este punto una horizontal hasta la escala B  
que da el valor que se busca.

El contenido de producto asfáltico está expresado como  
porcentaje en peso del agregado pétreo, para asfaltos re-  
bajados de troqueado rápido, medio o lento del número 2.

Nomograma Tentativo para corregir el % de producto asfáltico cuando se utilizan productos de mayor viscosidad o asfaltos de menor penetración.

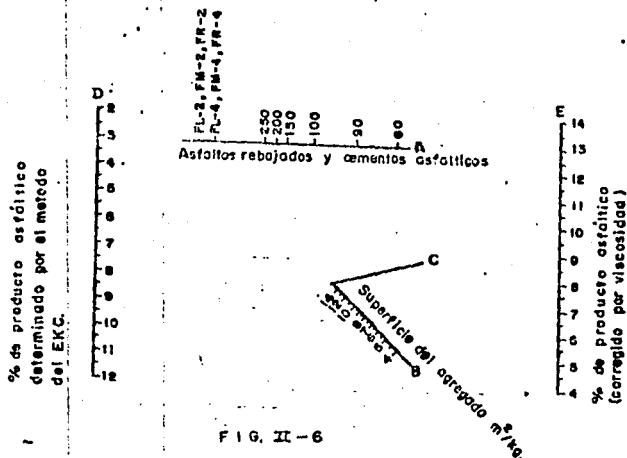
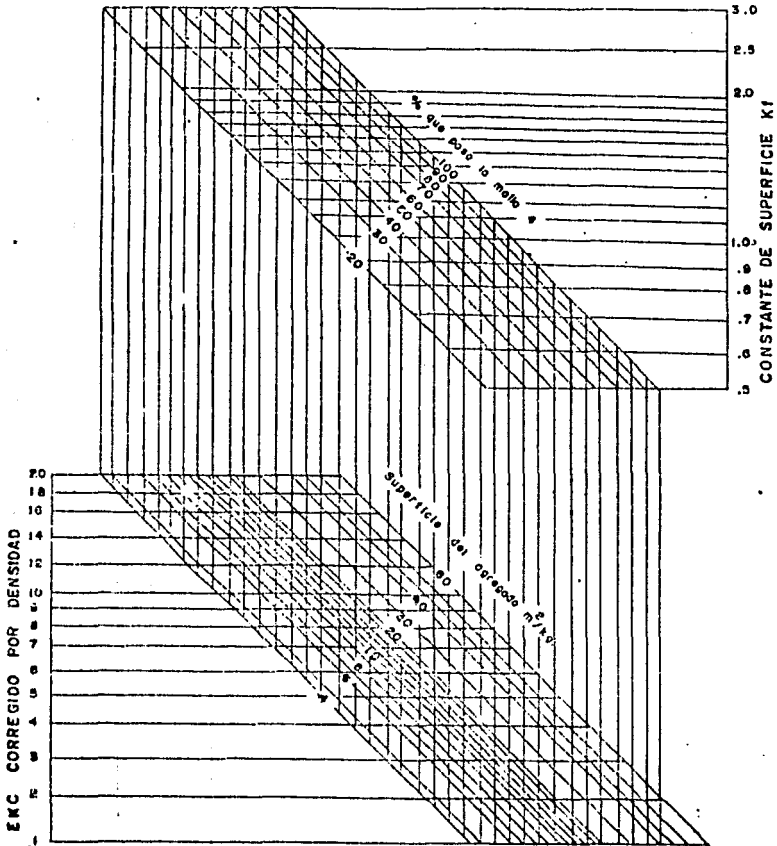


FIG. II-6

## PROCEDIMIENTO:

Únase el punto de la escala A correspondiente al producto que va ser utilizado, con el punto de la escala B que representa la superficie del agregado. Marque la intersección sobre la escala auxiliar y únese este punto con el valor del EKC en la escala D. La prolongación de esta recta interseca la escala E en el valor que se busca.

NOMOGRAMA PARA DETERMINAR EL VALOR DE  $K_f$  A PARTIR DEL VALOR DEL EQUIVALENTE DE KEROSINA CENTRIFUGADA (EKC).



$$\text{EKC CORREGIDO} = \text{EKC} \times \frac{\text{Densidad de los fines}}{2.65}$$

NOTA: No confundir esta corrección al valor del EKC con la corrección de Fig. II-4

FIG. II-7

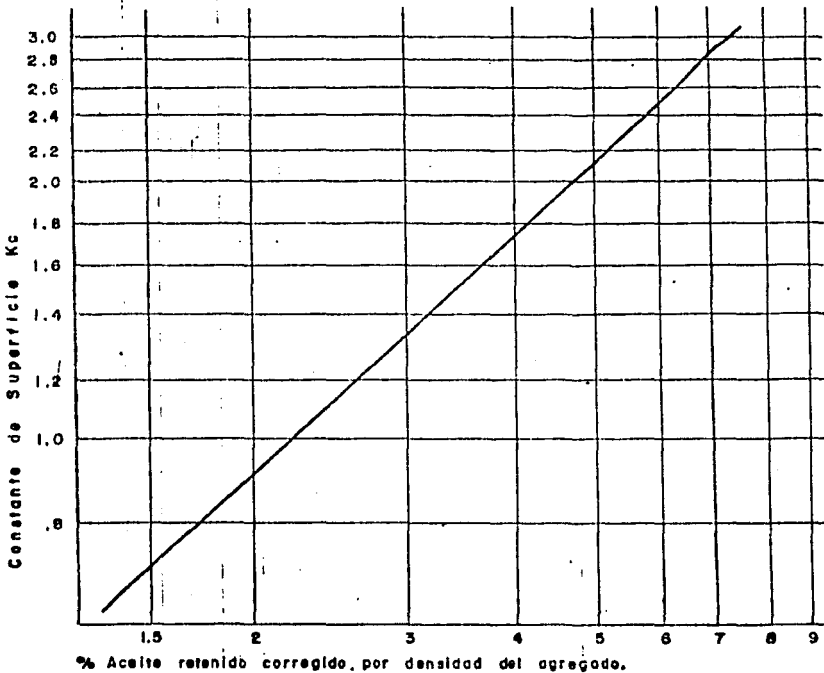
Material usado:

Agregado que pasa la malla de  $\frac{3}{8}$ "  
y se retiene en la malla 4

Aceite con viscosidad SAE 10

Valor corregido del aceite retenido =

$$\% \text{ aceite retenido} \times \frac{\text{densidad del agregado}}{2.65}$$



Nomograma para determinar el valor de Kc con los datos de la absorción del agregado grueso.

FIG. II-8

ma de la figura II.7. Para determinar el valor de  $K_c$  se procede en la siguiente forma: una muestra de 100 grs. de material seco que pasa la malla número 3/8" y se retiene en la malla -- Núm 4, se colocará en el embudo y se sumergirá en el aceite -- lubricante de viscosidad SAE de 10, durante cinco minutos a la temperatura ambiente. Se secará el embudo y se colocará sobre un vaso de precipitado en un horno a temperatura de 60 grados-centígrados, permitiéndose que drene el aceite durante un tiempo de 15 minutos; se pesará nuevamente el agregado y por diferencia de pesos se calculará el aceite absorbido o retenido, -- que se expresará como porcentaje de peso del material seco. -- Con este valor, una vez hecha la corrección por densidad del -- agregado, se calculará el valor de la constante  $K_c$ , mediante -- el monograma de la figura II.8. una vez determinados los valores de  $K_c$  y  $K_f$ , mediante el monograma de la figura II.7, se calculará el valor de la constante  $K_m$ , con cuyo dato puede ya determinarse el contenido óptimo de producto asfáltico empleando -- el monograma de la figura II.5. Para cementos asfálticos o productos de viscosidad mayor que la que indicamos anteriormente, deberá hacerse una corrección al contenido óptimo de producto -- por medio del monograma de la figura II.6.

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

El equipo de prueba será:

Un molde metálico de 4" de diámetro interior y 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 pueda sujetarse a la cabeza de aplicación de la carga. Este molde se utiliza cuando el tamaño máximo del agregado es menor de 3/8".

Un molde metálico de 5" de diámetro interior de 8.5" de altura, provisto de una base metálica removible y de una placa circular para la compactación, de diámetro un poco menor del cilindro. Este molde se emplea cuando el tamaño máximo del agregado es mayor de 3/8".

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

Una varilla metálica de 3/4" de diámetro y 30 cms. de longitud con punta de bala para el picado del material en el molde.

Un pisón metálico de 2.5 kgs. de peso, con superficie circular de apisonado de 2" de diámetro, provisto de una gúfa tubular de lámina de 35 cms. de largo.

Una cuchara de albañil.

Charolas de lámina.

Una balanza de 10 kgs. de capacidad con sensibilidad de 1 gramo.

Un horno con temperatura controlable.

Un termómetro con variación de 10 a 150 °C.

Vasos de precipitado.

El procedimiento de prueba comprende los siguientes pasos:

1.- La elaboración de la mezcla, que es como sigue:

Fijada la granulometría de la mezcla asfáltica, se determinará el porcentaje en peso de los siguientes tamaños en que ha sido separado previamente el material pétreo.

Material retenido en malla de 1/2".

Material retenido en malla de 1/4" y que pasa la malla de media pulgada.

Material retenido en malla Núm. 10 y que pasa la malla 1/4.

Material retenido en malla Núm. 40 y que pasa la malla número 10.

Material que pasa la malla Núm. 40.

Si el tamaño máximo del agregado es mayor de 3/8", se requerirán 4 kgs. de material pétreo para elaborar cada uno de los seis especímenes de pruebas. Se tomará de cada uno de los tamaños mencionados la cantidad de muestra que resulta de multiplicar el porcentaje en peso de cada fracción por el peso total de la muestra (4 kgs.). Las fracciones ya pesadas se mezclarán previamente a la adición del producto asfáltico. Para mezclas con tamaño máximo igual o menor de 3/8", se-

procederá en forma semejante debiendo ser de dos kilogramos -- la cantidad total del agregado pétreo para cada espécimen. La cantidad de producto asfáltico que deberá agregarse a cada una de las seis muestras se calculará sobre la base del contenido mínimo de asfalto que se determinó por el método de fórmulas-- empíricas.

Estas cantidades de producto asfáltico deberán co -- rresponder a los siguientes contenidos de cemento asfáltico, - expresados como porcentaje del peso del material pétreo.

Contenido calculado - 0.5%

Contenido calculado neto

Contenido calculado + 0.5%

Contenido calculado + 1.0%

Contenido calculado + 1.5%

Contenido calculado  $\pm$  2.0%

A cada una de las muestras de material pétreo se in corporará la cantidad calculada de producto asfáltico, más un pequeño exceso que puede llegar a ser de 0.5% de producto, pa ra reponer el que quede adherido a la charola. Se determinará el porcentaje de asfalto que corresponde a cada muestra ya -- sea por el método de extracción del asfalto o por el método - colorimétrico.

2.- La compactación de los especímenes se llevará-- a cabo por cualquiera de estos dos procedimientos: Con carga- estática o por medio de impactos. Se considera que difícilmen



te pueden reproducirse en el laboratorio las condiciones de compactación que se tienen en la obra, por tener el material menor libertad de acomodo en el cilindro. Este defecto queda contrarestando al compactar con el mismo sistema todos los especímenes de un mismo material.

Para decidir cual método es el que debe ser utilizado deberán compactarse por ambos procedimientos dos muestras elaboradas con el mismo contenido de asfalto, y elegir aquel que dé especímenes con mayor peso volumétrico y menor número de partículas fracturadas.

a) Si la compactación de los especímenes es con carga estática, inmediatamente después de terminada la mezcla, se procederá a su compactación utilizando el molde que le corresponda de acuerdo con el tamaño máximo del agregado. Se colocará el material en el molde, previamente calentado, en tres capas de igual espesor, dando a cada capa un picado con 25 golpes de la varilla para facilitar el acomodo del material. Enseguida se procederá a aplicar con la máquina de compresión una carga que corresponda a la presión de 40 kgs/cm<sup>2</sup>, o sean 3200 kgs. de carga total para los especímenes de 4" de diámetro y 5,000 kgs. para los de 5" de diámetro. La carga deberá aplicarse lentamente en forma continua y una vez alcanzada la presión específica, se mantendrá esta por un período de dos minutos. -

La relación altura-diámetro del espécimen ya compactado deberá ser aproximadamente de 1.25, con tolerancia 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 de este, y se dejará transcurrir el tiempo necesario para que adquiera la temperatura ambiente, con objeto de probar todos los especímenes a una misma temperatura. Es indispensable que todos los especímenes tengan la misma temperatura, para lograr resultados concordantes.

b) Si la compactación de los especímenes es con impactos, inmediatamente después de haber terminado de elaborar la mezcla se procederá a la compactación de los especímenes -- en el molde correspondiente, de acuerdo con el tamaño máximo del agregado. La compactación se hará en tres capas del mismo espesor aproximadamente. A cada capa se le hará un picado de 25 golpes con varilla metálica, para facilitar el acomodo del material y se compactará con 25 golpes de pisón, si el cilindro es de 4" de diámetro, o con 40 golpes si el diámetro es de 5". La altura de caída deberá ser de 30 centímetros y el pisón no deberá golpear directamente sobre la mezcla, para evitar -- romper el agregado pétreo. Para el efecto, se revestirá el pisón con hule o cuero de unos dos milímetros de espesor sobre la superficie que se va a apisonar. Una vez compactada ésta y antes de colocar la capa siguiente de mezcla, se procederá a --

escarificar la superficie con la varilla metálica para obtener una buena liga entre ambas capas. Terminada la compactación de la última capa por medio de el pisón, se aplicará lentamente con la máquina de compresión una carga que sea suficiente para producir una superficie horizontal y uniforme, sin que se provoque fractura del agregado pétreo. La carga unitaria para éste objeto podrá ser de 40 a 60 kgs./cm<sup>2</sup>., debiendo mantenerse durante un período de 2 minutos. La carga que se aplique -- deberá ser la misma para todos los especímenes elaborados con un mismo material. Se dejará enfriar el espécimen en el molde, se extraerá de este y se mantendrá a la temperatura ambiente -- el tiempo necesario para que adquieran dicha temperatura todos los especímenes elaborados. La relación altura-diámetro de los cilindros de prueba deberá ser de 1.25 aproximadamente, admitiéndose una tolerancia máxima de 5 mm en la altura de los especímenes compactados con un mismo material.

c) Prueba de los especímenes que se describe a continuación:

El espécimen ya frío compactado por cualquiera de -- los dos procedimientos anteriormente indicados, se probará a -- la compresión sin confinar, aplicando la carga uniforme y lentamente hasta alcanzar la de ruptura. Se calculará la resistencia unitaria para la carga máxima registrada en cada uno de -- los especímenes probados y, con estos datos, se formará una --

gráfica, en cuyas ordenadas se anotarán las resistencias obtenidas y en cuyas abscisas se anotarán los contenidos de asfalto expresados sobre la base de cemento asfáltico y referidos al peso del agregado pétreo (Figura II.9). El contenido óptimo se localiza dentro de la rama ascendente de la curva correspondiente al segundo máximo.

#### DETERMINACION DEL CONTENIDO OPTIMO DE ASFALTO

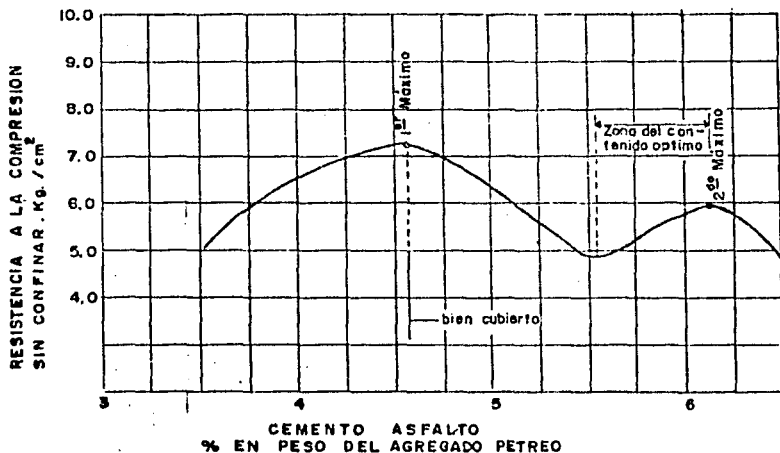


Fig. II-9

e) PROCEDIMIENTO DE MARSHALL PARA LA DETERMINACION DE LOS VALORES DE ESTABILIDAD Y DE FLUJO DE MEZCLAS ASFALTICAS.

Este método está limitado al proyecto y control de elaboración de mezclas asfálticas hechas en planta estacionaria, en caliente, utilizando cemento asfáltico. En esta prueba se determinarán los valores de estabilidad y de flujo en especímenes cilíndricos, compactados axialmente con un sistema determinado y probados a 60°C. El valor de estabilidad se determinará midiendo la carga necesaria para producir la falla del espécimen por dicha carga será el valor de flujo. El valor de estabilidad expresa la resistencia estructural de la mezcla compactada, y está afectado principalmente por el contenido de asfalto, la composición granulométrica y tipo del agregado. Principalmente el valor de estabilidad es un índice de la calidad del agregado. El valor de flujo representa la deformación requerida, en el sentido del diámetro del espécimen, para producir sufractura. Este valor es una indicación de la tendencia de la mezcla para alcanzar una condición plástica, y consecuentemente de la resistencia que ofrecerá la carpeta a deformarse bajo la acción de las cargas impuestas por los vehículos.

El equipo necesario para la elaboración y prueba de los especímenes es el siguiente:

Un molde de compactación provisto de un collarín y de una placa de base.

Un sostén del molde de compactación para sujetar firmemente el molde.

Un pisón de compactación, con superficie circular -- de apisonado y 1 7/8" de diámetro, equipado con una pesa des-- lisante de 4.5 kgs., cuya altura de caída es de 45.7 cms.

Una máquina de compresión Marshall accionada con motor eléctrico que permite aplicar cargas, por medio de una cabeza de prueba con forma de anillo seccionado, a una velocidad de 50.8 mm/Min. Está equipada con un anillo calibrado para determinar el valor de las cargas y un extensómetro para medir las deformaciones del anillo.

Un medidor de flujo.

Un tanque de saturación con dispositivo eléctrico -- para mantener constante la temperatura del agua.

Hornilla eléctrica para calentar los agregados.

Charolas de lámina.

Cucharon de lámina.

Un termómetro blindado para registrar temperaturas -- entre 10 y 200= °C.

Una balanza con capacidad de 20 kg. y sensibilidad-- de 1 gr.

Una cuchara de albañil.

Una espátula.

Un baño de agua para calentar el pisón de compactación y el molde.

Con relación a la elaboración de los especímenes se considerarán los siguientes conceptos:

I).- Fijada la granulometría de la mezcla asfáltica se determinará el porcentaje en peso de los siguientes tamaños en que ha sido separado previamente el material pétreo, tal como se indica en el inciso h) de este capítulo.

Material retenido en malla de 1/2"

Material retenido en malla de 1/4" y que pasa la malla 1/2.

Material retenido en malla número 10 y que pasa la malla de 1/4".

Material retenido en malla número 40 y que pasa la malla número 10.

Material que pasa la malla número 40.

Para cada contenido de asfalto se fabricarán tres especímenes, cada uno de los cuales requiere aproximadamente 1200 gramos de agregado pétreo. 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 cemento asfáltico. La cantidad de

mento asfáltico que deberá agregarse a cada muestra, se calculará sobre la base de contenido mínimo de asfalto, que se determina por el método de las fórmulas empíricas. No deberá omitirse la corrección alf mencionada para el caso de los cementos asfálticos que tienen un menor poder de recubrimiento que los asfaltos rebajados.

Estas cantidades de cemento asfáltico deberán corresponder a los siguientes porcentajes de cemento asfáltico, expresados en relación al peso del material pétreo:

Contenido calculado - 1%

Contenido calculado neto

Contenido calculado + 0.5%

Contenido calculado + 1.0%

Contenido calculado + 1.5%

Contenido calculado + 2.0%

Se mezclarán los agregados y el cemento asfáltico, calentados previamente a las temperaturas de 175°C y 120°C -- respectivamente, hasta obtener una distribución uniforme del asfalto. La temperatura de la muestra no deberá ser menor de 100°C al momento de elaborar el espécimen. En ningún caso la mezcla deberá ser recalentada.

II).- Para compactar la mezcla asfáltica se procederá en la forma siguiente: El pisón de compactación y el molde se calentarán en un baño de agua hirviendo. Una vez calien



te se sacará el equipo del baño y se colocará un papel filtro en el fondo del molde y se llenará este con la mezcla caliente. Se apoyará el pisón sobre la mezcla y se aplicarán 50 golpes con la pesa deslizante. La cara del pisón será mantenida paralela a la base del molde durante el proceso de compactación. Se quitará el collarín y se invertirá la posición del molde; Se colocará el collarín y se aplicarán otros 50 golpes en el espécimen. El procedimiento de compactación anteriormente descrito se aplicará al estudio de mezclas asfálticas proyectadas para recibir presiones de contacto que no excedan de 7 kgs/cm<sup>2</sup>. El número de golpes en cada cara del espécimen deberá aumentarse a 75, cuando la mezcla se proyecte para recibir presiones de contacto comprendidas entre 7 y 14 kgs/cm<sup>2</sup>. Se removerá el collarín y la placa de base, y el molde con su contenido se sumergirá en agua fría por un tiempo mínimo de dos minutos. Se extraerá el espécimen del molde, se identificará y se dejará enfriar a la temperatura ambiente durante 12 a 24 Hs. Los especímenes compactados deberán tener una altura de 2 1/2", con una tolerancia de 1/8", y en caso contrario deberá repetirse el proceso.

La prueba de los especímenes comprende la determinación del peso volumétrico y de los valores de estabilidad y de flujo. La determinación del peso volumétrico del espécimen

ya compactado, se hará dividiendo el peso del espécimen entre su volumen. Los valores de estabilidad y de flujo se obtendrán ensayando los especímenes en el aparato de Marshall, siguiendo el procedimiento que a continuación se describe: Se sumergirá el espécimen en el tanque de saturación con el agua a la temperatura de 60°C, con 0.5 °C de tolerancia y se mantendrá en esta condición durante 20 a 30 minutos. Mientras los especímenes se encuentran en el tanque de saturación se limpiará la superficie del anillo seccionado y se lubricarán los postes guía de tal manera que la sección superior del anillo deslice libremente; se ajustará a 0 el extensómetro del anillo de carga. Terminado el proceso de inmersión, se secará su superficie. Se colocará el espécimen entre las dos secciones de la cabeza de prueba y se centrará el conjunto en la máquina de compresión. Se colocará el medidor de flujo en el poste guía y se ajustará a 0 su carátula. Se aplicará la carga al espécimen a una velocidad constante de 50 mm/min. hasta que la falla del espécimen ocurra. La carga máxima aplicada deberá producir la falla del espécimen a la temperatura de 60°C, se deberá registrar como el valor de estabilidad Marshall. Mientras la prueba se lleve a efecto se deberá sostener firmemente el medidor de flujo sobre el poste guía y se removerá tan pronto haya aplicado la carga máxima, anotándose la deformación sufrida por el -

espécimen. Esta lectura en milímetros expresa el valor de flujo. Se promediarán los valores de estabilidad y de flujo de los tres especímenes elaborados con el mismo contenido de asfalto, debiendo desecharse para el cálculo el valor que discrepe notablemente. La prueba anteriormente descrita deberá completarse dentro de un período de 30 segundos, contados a partir del momento en que los especímenes sean sacados del tanque de saturación. La determinación del porcentaje óptimo de asfalto se hará de acuerdo con el criterio que a continuación se indica:

a) Se calculará el promedio del peso volumétrico de los especímenes de prueba elaborados con un mismo porcentaje de asfalto, desechando para el cálculo del promedio los valores que muestran una gran discrepancia.

b) Se calculará la densidad teórica máxima y el porcentaje de vacíos para cada contenido de asfalto.

c) Se calculará la relación entre el volúmen ocupado por el asfalto y el volúmen total de huecos que existiría, si el material pétreo del espécimen no contubiera asfalto. Para esto último se utilizará la siguiente fórmula:

$$V_o = \frac{D_r \times P_a \times \gamma_s}{100 D_r \times D_a - (100 - P_a) \gamma_s \times D_a}$$

$$V_o = \frac{\text{Volumen de asfalto}}{\text{Volumen total de huecos}}$$

Donde:

$D_r$  = Densidad relativa aparente del material pétreo.

$\gamma$  = Peso volumétrico del espécimen, en grs/cm<sup>3</sup>.

$D_a$  = Densidad relativa del cemento asfáltico  
aproximadamente 1.03.

$P_a$  = Porcentaje de cemento asfáltico, con relación -  
al peso de la mezcla.

d) Se corregirán los valores de la estabilidad de --  
los especímenes que no tengan la altura especificada de 63.5 -  
mm., multiplicando los valores obtenidos por los factores de -  
corrección que se dan en la siguiente tabla.

Altura del espécimen mm.	Factor de corrección	Altura del espécimen mm.	Factor de corrección
55	1.27	63.5	1.00
56	1.23	64.0	0.98
57	1.20	65.0	0.96
58	1.16	66.0	0.94
59	1.13	67.0	0.92
60	1.10	68.0	0.90
61	1.07	69.0	0.88
62	1.04	70.0	0.86
63	1.01	71.0	0.84

e) Se dibujarán las gráficas siguientes (Fig. II.10):

Peso volumétrico - contenido de asfalto.

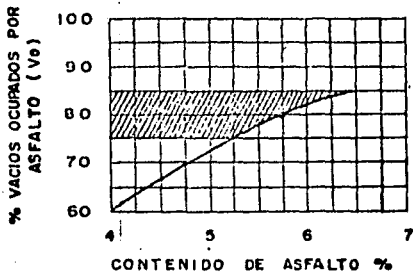
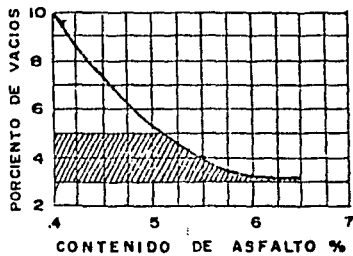
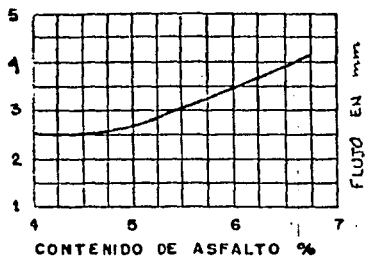
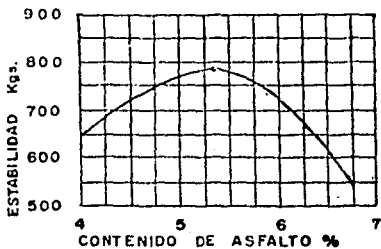
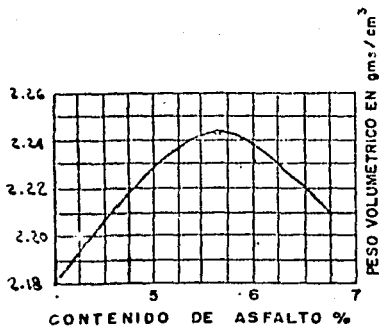


Fig II - 10

Estabilidad - contenido de asfalto

Flujo - contenido de asfalto.

Porcentaje de vacíos - contenido de asfaltos.

Huecos ocupados por asfalto ( $V_0$ ) - contenido de asfalto.

f) De los datos obtenidos de las gráficas, se calculará el contenido óptimo de asfalto, promediando los siguientes valores:

El contenido de asfalto que corresponde al mayor peso volumétrico.

El contenido de asfalto que corresponde a la máxima estabilidad.

El contenido de asfalto que corresponde al valor medio del porcentaje de vacíos, señalados en la tabla II.11, -- que aparece a continuación.

El contenido de asfalto que corresponde al valor medio del porcentaje de huecos ocupado por el asfalto, señalado en la tabla II. 11.

Se recomienda que la mezcla cuyo contenido de cemento asfáltico corresponda al promedio de los valores anteriormente indicados, reúnan los requisitos que se dan en la tabla II.11.

	Tipo de Mezcla	Presión de contacto de las llantas	
		7 kg./cm.	14 kg./cm.
Estabilidad		225 kg.-min.	450 kg. min.
Flujo		4 mm. máx.	5 mm. máx.
% de vacíos	Con agregados de tamaño máximo de 19 mm. (3/4")	3 - 5	3 - 5
	Con agregados de tamaño máximo de 6.35mm. (1/4")	5 - 7	6 - 8
% de huecos ocupados por asfalto	Con agregados de tamaño máximo de 19 mm. (3/4")	75 - 85	75 - 82
	Con agregados de tamaño máximo de 6.35mm. (1/4")	65 - 75	65 - 72

TABLA II - II

f) PROCEDIMIENTO DE HVEEM PARA LA DETERMINACION DE LOS VALORES DE ESTABILIDAD, COHESION, Y EXPANSION EN MEZCLAS ASFALTI -- CAS.

En un material pétreo graduado al que se le han incorporado diferentes cantidades de asfalto, la resistencia --- ofrecida por las mezclas ya compactadas a los esfuerzos laterales que se provocan al aplicarse una carga vertical, es función de la cantidad y tipo del asfalto incorporado a la mezcla, y del acomodo y características de las partículas del material pétreo. La mezcla asfáltica compactada dentro de un molde, transmite a este lateralmente una cierta fracción de la presión vertical aplicada. Dicha presión lateral varía inversamente con la resistencia interna de la mezcla, y si se cuenta con dispositivos para medir aquella, se tendrá una indicación de su resistencia o estabilidad. Por medio del estabilómetro de Hveem se miden dichas presiones laterales, para determinar el porcentaje de estabilidad correspondiente a la mezcla ensayada. Los porcentajes de estabilidad varían de 0 a 100, en donde el valor 0, corresponde a un estado semejante al líquido, en el cual la presión vertical aplicada se transmite lateralmente en su misma magnitud. El valor de 100 corresponde a un cuerpo rígido que no permite presión lateral. De acuerdo con los conceptos anteriormente enunciados es evidente que, para evitar que las carpetas de mezcla asfáltica se desplacen bajo la acción -



de las cargas impuestas por los vehiculos, es necesario que -- presenten cierta resistencia a la deformación plástica, la cual queda fijada por el porcentaje mínimo de estabilidad, que será de 30, para tránsito ligero y de 35 para tránsito intenso. Puede presentarse el caso que la mezcla asfáltica compactada satisfaga los requisitos mínimos de estabilidad requeridos, pero que su cohesión o resistencia a los esfuerzos de tensión sea muy -- bajo, debido a las características del producto asfáltico utilizado en su elaboración. Es evidente que las mezclas elaboradas con cementos asfálticos de baja penetración presenten características de dureza diferentes a aquellas en que se utilizó un asfalto rebajado de fraguado medio, pongamos por caso. Para valorar esta característica se hace uso de cohesiómetro, dispositivo con el cual se mide la resistencia cohesiva de la película asfáltica que recubre al agregado pétreo, sujetando a un esfuerzo de flexión al mismo espécimen utilizado para medir la estabilidad. El valor obtenido con el cohesiómetro deberá ser igual o mayor de 50 para cualquier tipo de tránsito. La prueba de expansión es un índice de la resistencia de una mezcla asfáltica compactada, al reblandecimiento y desintegración provocados por el agua. El valor máximo permitido para la expansión es de 0.7-mm. El contenido óptimo de asfalto será el porcentaje máximo -- que admita la mezcla sin perder estabilidad, y se definirá por medio de la curva porcentaje de asfalto - estabilidad.

En la determinación del valor de estabilidad se tomarán en consideración los siguientes conceptos:

1.- El equipo para la compactación de los especímenes será:

Una máquina de compresión formada por un marco y un gato hidráulico con dispositivos para hacer lecturas a cada 10 kgs.

Un molde de compactación provisto de una placa de base, un anillo guía y un pistón de compactación que se ajusta a la cabeza del marco de carga.

Una balanza de dos kilogramos de capacidad y un decímo de gramo de sensibilidad.

Una cuchara de mango largo.

Empaques redondos de 10 centímetros de diámetro, de papel bond delgado.

2.- El equipo para la prueba de estabilidad será:

Una máquina de compresión que permita la aplicación de cargas a velocidad constante.

Un extensómetro con graduaciones de 1 centésimo de milímetro o de un milésimo de pulgada.

Papel bond grueso.

Cemento o pegamento para empaque.

Ligas de hule delgadas.

Empaques redondos de 10 cms. de diámetro de papel --

cartulina.

Un horno con temperatura controlable.

Talco.

Un estabilómetro de Hveem.

3.- En la elaboración de la mezcla deberá utilizarse únicamente el material que pasa la malla 3/4", con el cual se elaborarán seis mezclas.

4.- Para la compactación de los especímenes se seguirá el método que a continuación se describe:

Se deberá limpiar el molde de compactación con un lienzo ligeramente humedecido con tractolina o petróleo. Deberá centrarse el molde en dicho anillo y se colocará la placa de base, cubriéndola con un disco de papel. Se pesará en la balanza una cantidad de mezcla suficiente para elaborar un espécimen de 2.5 pulgadas de altura. Se colocará en el molde, ---- aproximadamente la tercera parte de la mezcla, la que se comprimirá ligeramente con la cuchara. En la misma forma se procederá con el resto del material, colocándolo en dos capas, comprimiéndolo de manera que quede a nivel con el borde del molde, y se cubrirá con un disco de papel. Se asegurará firmemente el pistón de compactación al marco de prueba y se colocará el molde y el anillo gufa centrado en la platina del gato hidráulico. Se aplicará carga hasta que el manómetro registre 25 kgs. Ac -

cionando los manerales sujetos al molde se impartirá a este un movimiento ondulatorio hasta completar tres ciclos. Al acomodarse las partículas del agregado automáticamente desciende -- la carga. Deberá repetirse<sup>3</sup> la aplicación de la carga de 25 kgs. seguida del movimiento ondulatorio, el número de veces necesaria hasta que se dificulte extremadamente mover el molde. Un indicio de que se ha alcanzado una compactación satisfactoria se tiene cuando, al accionar una sola vez la palanca del émbolo -- en toda su carrera, se registra en el manómetro una carga aproximada de 50 kgs. deberá aplicarse en seguida una carga de 1,130 kgs. al espécimen, a una velocidad aproximada de 1 bombeo por segundo. Se retirará la carga y se extraerá el espécimen del molde. La altura del espécimen deberá ser de 63.5 mm., admitiéndose una tolerancia de 2 mm. en mas o menos. Si la altura obtenida no está dentro de esta tolerancia, el espécimen -- deberá desecharse.

5.- La prueba de los especímenes comprende las si -- guientes etapas:

a) La preparación del espécimen, que consistirá, primero, en pegar a la pared de esta una tira de papel bond grueso, de ancho igual a la altura de aquel, con cortes trasversales. Después se colocará el espécimen en un honro a 60°C durante 4 horas.

b) La calibración del estabilómetro, que deberá efectuarse inmediatamente antes de cada serie de pruebas consecutivas procediendo en la forma que se indica: deberán colocarse los dos anillos de aluminio, dejándolos descansar sobre el disco de ajuste de la base, y se colocará la cámara o celda del estabilómetro sobre los anillos de aluminio. Se insertará el cilindro de metal que hará las veces del espécimen en esta calibración, y se fijará su posición por medio del disco de ajuste, de manera que la parte superior del cilindro coincida con la parte inferior del anillo de cierre para que en toda su altura quede en contacto con el diafragma. Se colocará el pistón de carga sobre el cilindro y se aplicará una carga de 450 kgs. para mantenerlo fijo en su posición. Se abrirá la llave de paso aproximadamente 1/4 de vuelta y se hará girar la manivela de la bomba hasta obtener una presión de 0.35 kgs/cm<sup>2</sup>., se ajustará el extensómetro horizontal a 0, y girando la manivela de la bomba a razón de dos vueltas por segundo, se aumentará la presión hasta 7 kgs./cm<sup>2</sup>. En esta condición, el desalojamiento medido con el extensómetro deberá ser de 5.08 mm., admitiendo una tolerancia de 0.12 mm., en mas o menos. Este desalojamiento corresponde a dos vueltas de la manivela. Para ajustar el desplazamiento al valor requerido se aplicará con la bomba una presión de 7 kgs/cm<sup>2</sup>. En seguida se darán exacta-

mente dos vueltas a la manivela de la bomba en sentido contrario, y se introducirá o eliminará aire del sistema hasta obtener en el manómetro una lectura de 0.35 kgs/cm<sup>2</sup>. Se repetirá el procedimiento hasta lograr que con dos vueltas a la manivela eleve la presión hasta 7 kgs/cm<sup>2</sup>.

c) La prueba del especimen se llevará a cabo con la secuela siguiente:

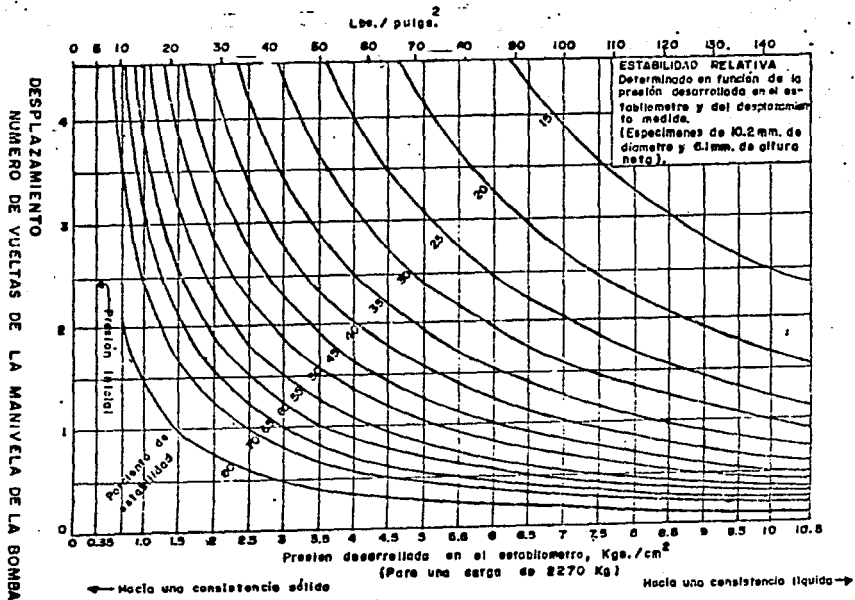
Una vez obtenido el desplazamiento inicial, se eliminará la presión dando vuelta a la manivela de la bomba hacia la izquierda, lo suficiente para que el especimen pueda insertarse en el lugar adecuado sin dificultad. Deberá retirarse la celda y colocarse un disco de papel en la cabeza de la base, -- sobre el que deberá descansar el especimen, en la misma posición en que fue compactado. Nuevamente se colocará la celda en su posición. Se ajustará la altura del disco de base hasta que la cara superior del especimen quede a 22 mm. debajo del borde interno del anillo de cierre, y se fijará en esta posición mediante el tornillo operador. Sobre el espécimen, cubierto con otro disco de papel se colocará el pistón de carga. Se hará girar la manivela de la bomba hasta que se registre en el manómetro una presión de 0.35 de kilogramo sobre centímetro cuadrado y se cerrará la llave de paso, durante el transcurso de la --- prueba. Deberá centrarse el estabilómetro en la máquina de com

presión y bajarse la cabeza, hasta que quede en contacto con el pistón de carga. Se aplicará la carga a una velocidad constante de 1.27 mm por minuto.

Se anotará la carga aplicada y la presión indicada -- por el manómetro, simultáneamente, para las siguientes cargas:-- 225 kg 455 kgs., y de allí en adelante, a cada incremento de -- 455 kgs. hasta alcanzar la carga de 2,725 kgs. Al llegar a este punto se suspenderá la aplicación de carga y deberá dismi--- nuirse ésta, hasta llegar a un valor de 455 kgs. Se abriera la - llave de paso del estabilómetro aproximadamente 1/4 de vuelta,- y se hará girar hacia la izquierda la manivela de la bomba de-- desplazamiento, hasta que el manómetro marque 0.35 de kgs. por- cm<sup>2</sup>. Se ajustará el extensómetro a 0, se elevará la presión en- el estabilómetro hasta alcanzar 0.35 de kgs. por cm<sup>2</sup>. y se ano- tará la lectura del extensómetro. Cuando su graduación este en- centésimos de milímetros, este valor, dividido entre 2.54 mm.,- dará el desplazamiento final expresado en vueltas de la manive- la.

d) La determinación del por ciento de estabilidad, se- obtendrá, por medio de las gráficas de la figura II.12 y II.13, de acuerdo con el procedimiento siguiente: Se localizará en el- eje de las abscisas el valor de la presión registrada en el --- manómetro del estabilómetro para la carga vertical de 2,270 kgs. y, en el eje de las ordenadas, el valor del desplazamiento fi -

Fig II-12





nal, expresado en número de vueltas de la manivela de la bomba. La intersección de estas dos coordenadas marcarán el valor del por ciento de estabilidad, que deberá corregirse cuando la altura del espécimen no sea la especificada de 63.5mm. - utilizando la gráfica de la figura II.13.

6.- En la determinación del valor del cohesiómetro se considerarán los siguientes conceptos:

a) El equipo utilizado en la presente prueba será:

Un cohesiómetro.

Un horno con temperatura controlable.

Una balanza de 10 kg. de capacidad y 1 gr. de sensibilidad.

b) El procedimiento de pruebas se llevará a cabo -- utilizando el mismo espécimen en que se determinó la estabilidad, el cual deberá mantenerse en el horno durante dos horas a una temperatura de 60°C. Después de transcurrido dicho tiempo, se deberá sacarse del horno y colocarse en la máquina de prueba, teniendo cuidado de que quede bien centrado y apoyado. La temperatura del gabinete del cohesiómetro, durante la prueba, deberá ser de 60°C, con tolerancia de 1°C. Se aplicará la carga al extremo del brazo de palanca mediante una alimentación uniforme de municiones, a un gasto de 1,800 grs. por minuto. Al provocarse la falla del espécimen en forma brusca, -

**CORRECCION DE LOS VALORES DEL ESTABILOMETRO PARA UNA ALTURA EFECTIVA DEL ESPECIMEN DE 61 mm.**

La corrección por altura deberá hacerse por medio de la tabla y gráfica adjuntas  
Ejemplo:

ALTURA TOTAL DEL ESPECIMEN = 70 mm.  
ALTURA EFECTIVA = 66 mm.  
VALOR DE ESTABILOMETRO SIN CORREGIR = 33  
VALOR DE ESTABILOMETRO CORREGIDO = 38

ALTURA TOTAL DEL ESPECIMEN (MILIMETROS)	ALTURA EFECTIVA (MILIMETROS)
56 a 61	56
61 a 66	61
66 a 71	66
71 a 76	71

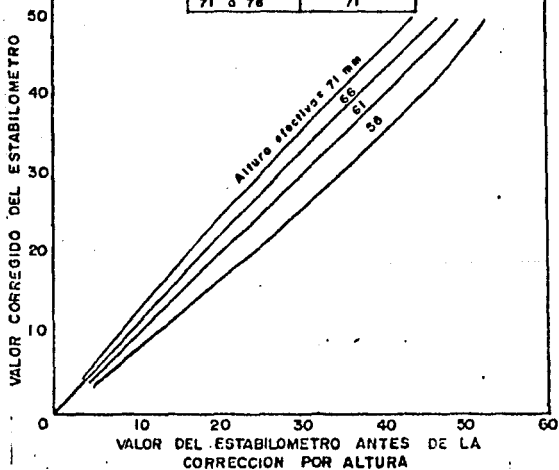


Fig II - 13

deberá cortarse inmediatamente la corriente de municiones y, si el espécimen es plástico, deberá suspenderse la alimentación cuando el extremo del brazo de palanca haya tenido un desplazamiento vertical de 13 mm. Se pesará la carga de municiones recibida en el recipiente y se calculará el valor del cohesiómetro, multiplicando este peso por el factor correspondiente a la altura del espécimen, de acuerdo con la tabla siguiente:

Altura en mm.	Factor	Altura en mm.	Factor
55	0.391	63	0.325
56	0.382	64	0.318
57	0.373	65	0.312
58	0.362	66	0.305
59	0.356	67	0.299
60	0.348	68	0.293
61	0.340	69	0.288
62	0.332	70	0.283

7.- En la determinación de la expansión se tomarán en consideración los siguientes conceptos:

a) El equipo empleado será:

Un molde metálico de 4" de diámetro interior y .5" de altura.

Una placa de bronce perforada de 3 7/8" y 1/8" de espesor provisto de un vástago vertical.

Un extensómetro de carátula graduado en centésimos -  
de milímetros.

Un marco de apoyo del extensómetro.

Una charola de lámina de 65 mm. de altura.

b) El procedimiento de prueba comprenderá los siguientes pasos:

Se colocará dentro del molde un espécimen que haya --  
sido elaborado siguiendo el procedimiento indicado al principio  
de este método, y se le dejará enfriar durante una hora; trans-  
currido éste lapso se colocará el molde dentro de la charola --  
de lámina. Se apoyará sobre el espécimen la placa perforada con  
su vástago. sobre el borde del molde se fijará el marco y se --  
sujetará a este el extensómetro. Se ajustará el vástago de la --  
placa perforada de manera que haya una ligera presión en el vástago del extensómetro, se colocará a 0 la carátula de este. Se llenará la charola con agua y se vaciarán 500 cm<sup>3</sup>. de agua en el interior del molde. Se mantendrá el espécimen en estas condiciones durante 24 horas. y transcurrido este lapso se hará -- la lectura del extensómetro, que indicará la expansión del espécimen expresada en mms.

g) DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE VACIOS EN MEZCLAS ASFALTICAS.

El objeto de esta prueba es determinar si el espécimen

men compactado en el laboratorio, o bien, la muestra inalterada tomada de la carpeta contiene un porcentaje de vacíos dentro -- de los límites que fijan las normas para asegurar la impermeabilidad de la carpeta y a la vez prevenir una baja estabilidad de la misma por exceso de asfalto.

El procedimiento de prueba es el siguiente:

1.- Deberá determinarse el peso volumétrico. Del espécimen de mezcla asfáltica ya curada y compactada de acuerdo al procedimiento indicado en las pruebas de estabilidad, dividiendo el peso del espécimen entre su volumen. En el caso de -- muestras tomadas en carpetas ya construídas, el peso volumétrico deberá determinarse por el método de la parafina, descrito -- en el anexo II. A de este capítulo.

2.- Se determinará la densidad teórica que alcanzaría el espécimen de mezcla asfáltica si se encontrara exento de vacíos. Para ésto es necesario calcular el porcentaje de agregado pétreo o retenido en la malla 1/4" , el porcentaje del agregado pétreo que pasa la malla 1/4" y el porcentaje en peso de asfalto, referidos todos ellos al peso total de la mezcla asfáltica. Deberá determinarse también la densidad relativa aparente del -- agregado pétreo mayor de 1/4", y la densidad relativa del agregado pétreo menor de 1/4". La densidad del asfalto para fines -- prácticos se considerará de 1.0 en los rebajados y de 1.03 en --

los cementos asfálticos. La densidad teórica máxima de la mezcla asfáltica se calculará con la fórmula siguiente:

$$D = \frac{100}{\frac{P_g}{D_g} + \frac{P_f}{D_f} + \frac{P_a}{D_a}}$$

De donde:

D = Densidad teórica máxima de la mezcla asfáltica.

P<sub>g</sub> = Porcentaje de material pétreo retenido en la malla 1/4", en relación al peso de la mezcla asfáltica.

P<sub>f</sub> = Porcentaje de material pétreo que pasa la malla 1/4", con relación al peso de la mezcla asfáltica.

P<sub>a</sub> = Porcentaje de asfalto, con relación al peso de la mezcla asfáltica.

D<sub>g</sub> = Densidad relativa del material pétreo retenido en la malla 1/4".

D<sub>f</sub> = Densidad relativa del material pétreo que pasa la malla 1/4".

D<sub>a</sub> = Densidad del asfalto.

100 % = P<sub>g</sub> + P<sub>f</sub> + P<sub>a</sub>.

3.- Se calculará el por ciento de vacíos en la mezcla asfáltica con la fórmula siguiente:

$$V = \frac{100 (D - \delta^*)}{D}$$

En donde:

V = Porcentaje de vacíos en el espécimen de mezcla asfáltica.

D = Densidad teórica máxima de la mezcla asfáltica.

$\delta^*$  = Peso volumétrico del espécimen de mezcla asfáltica expresado en gramos por cm<sup>3</sup>.

#### h) CONSIDERACIONES GENERALES RELATIVAS AL CONTENIDO OPTIMO -- DE ASFALTO CON MEZCLAS DE MATERIALES GRADUADOS.

La proporción de asfalto que es necesario agregar -- para aglutinar el material pétreo que formará una carpeta de rodamiento, es función de las características físicas del -- agregado, de su graduación y del tipo de producto asfáltico -- que va a ser empleado. El grado de porosidad y la superficie total de las partículas de material pétreo, son los factores -- que mayor influencia tienen para fijar el porcentaje de asfal -- to necesario para formar una película de determinado espesor -- que deberá cubrir las partículas de agregado pétreo. El con -- tenido de asfalto que se considerara como óptimo es aquel que produce la mejor combinación de resistencia estructural y du -- rabilidad de la carpeta. La durabilidad es función directa -- del espesor de la película asfáltica que cubre las partículas del agregado; es decir que a mayor espesor de la película --

corresponde una mayor resistencia al intemperismo y a la abrasión, producida por los vehículos. Por lo que respecta a la resistencia estructural, podemos considerar que para un mismo agregado pétreo, al ir aumentando el espesor de la película asfáltica, encontramos tres condiciones:

1.- El asfalto actúa como ligante y, dentro de esta condición se presenta la máxima resistencia estructural, pero -durabilidad mínima.

2.- La película de asfalto actúa con menor poder ---ligante, y comienza a observarse un cierto grado de lubrica ---ción entre las partículas de agregado, disminuyendose por esta causa la resistencia estructural, y aumentando la durabilidad.- Dentro de esta condición se localiza el espesor de la película de asfalto que proporciona a la carpeta la mejor combinación -de resistencia y durabilidad que comprende al contenido óptimo- de asfalto.

3.- La película de asfalto al ir aumentando de espesor, actúa principalmente como lubricante, perdiendo considera- blemente su poder ligante, en esta condición se va perdiendo -resistencia de la carpeta y se provocan deformaciones o des --plazamientos perjudiciales al paso de los vehículos.



ANEXO II. a

## PRUEBA DE LA PARAFINA

La determinación del peso volumétrico seco en muestras inalteras se puede realizar únicamente en suelos finos y plásticos que puedan labrarse especímenes. Deberá efectuarse en todas aquellas muestras inalteradas que vayan a ser ensayadas en el laboratorio. Podrá aplicarse también para conocer el peso volumétrico o grado de compactación alcanzado en una terracería ya construída o en un terreno de cimentación. Para la determinación debe considerarse:

## a) El equipo necesario será:

Parafina

Hilo delgado

Un cuchillo para labrar el espécimen

Una balanza de 200 grs. de capacidad, de triple-escala con sensibilidad de un centésimo de gramo.

Un baso de cristal de 400 cc.

b) Se labrará un espécimen de la muestra inalterada de forma sensiblemente cúbica, de 5 cms. de lado y se registrará inmediatamente su peso húmedo en gramos ( Pw ). Se cubrirá con una cpa delgada de parafina líquida, se dejará enfriar y se registrará el peso en gramos del espécimen cubierto con la parafina Pp. Se sujetará el hilo en la muestra, de

jando un extremo libre para suspenderla de la balanza. Deberá colocarse el baso con la cantidad necesaria del agua, en el aditamento especial que tiene la balanza para este objeto y se sumergirá completamente el espécimen que está suspendido en la balanza, sin que toque el fondo y las paredes del baso. Se registrará el peso en gramos de la muestra en estas condiciones  $P_a$ . Se calculará el volúmen de la parafina dividiendo el peso de esta entre su densidad.

$$V_p = \frac{P_{p_{m}} - P_w}{D_p}$$

Siendo:

$V_p$  = Volúmen de la parafina en c.c.

$D_p$  = Densidad de la parafina igual a 0.97 aproximadamente.

Se calculará el volúmen del espécimen (sin la parafina) con la fórmula siguiente:

$$V = P_p - P_a - V_p$$

siendo:

$V$  = Volúmen del espécimen en c.c.

La diferencia de " $P_p - P_a$ " representa el peso en gramos del agua desalojada por el espécimen cubierto por parafina, que para fines prácticos representa el volúmen en c.c.

Para calcular el peso volumétrico ( $\gamma_w$ ) se aplicará la fórmula siguiente:

$$\gamma_w = \frac{P_w}{V}$$

Deberá determinarse la humedad ( W ) en la muestra -  
inalterada y se calculará el peso volumétrico seco  $\gamma_s$  por --  
medio de una de las siguientes fórmulas:

$$\gamma_s = \frac{\gamma_w}{100 W} \times 100$$

o bien:

$$\gamma_s = \frac{P_w}{V (100 W)} \times 100$$

### C A P I T U L O   I I I

#### CONSTRUCCION DE CARPETAS ASFALTICAS

Antes de proceder a la construcción de cualquier -- tipo de carpeta asfáltica, hay necesidad de impregnar la base compactada, ésto se logra con el riego de un producto asfáltico rebajado de fraguado medio, cuya función es impregnar superficialmente y hasta la profundidad que penetra el asfalto permitiendo una transición entre la base y la carpeta asfáltica. El riego de impregnación tiene por objeto actuar como -- agente adherente, así como sello de junta sobre la base y el nuevo pavimento , dando a la base mayor impermeabilidad, resistencia al interperismo, la abración y protección durante el tiempo que transcurra entre su determinación y la construcción de la carpeta o nuevo pavimento.

##### a) ELABORACION DE MEZCLAS ASFALTICAS EN EL LUGAR.

Se le llama mezcla en el lugar porque se hace en el sitio donde se va a usar, con materiales pétreos fríos y asfalto de fraguado rápido, el cual puede ser precalentado.

Para su elaboración no se requiere equipo especialni costoso, simplemente son necesarios: Una petrolizadora para regar el asfalto, una motoconformadora para hacer la revolutura del material pétro con el asfalto y extenderla en el camino al ancho especificado y una planchadora metálica con pe-

so de 10 a 12 toneladas auxiliada con un rodillo neumático.

La granulometría comunmente empleada es la siguien-

te:

3/4"	Pasa	100%
1/2"	Pasa	85%
No. 4	Pasa	52%
No. 8	Pasa	36%
No. 30	Pasa	22%
No. 100	Pasa	10%
No. 200	Pasa	6%

La granulometría se ve que contiene un porcentaje - de finos mayor la prácticamente considerada como densidad mediana.

Una parte de la cantidad de finos desaparece durante el proceso de revoltura hecho en la motoconformadora, quedando una curva granulométrica técnicamente centrada (ideal).

Generalmente la cantidad de cemento asfáltico requerido es de 90 a 115 litros por metro cúbico de material pétreo.

Desde luego, para determinar la granulometría conveniente por utilizar y el contenido de cemento asfáltico, se procede a desarrollar un diseño que generalmente se basa en la prueba de compresión sin confinar.

El procedimiento de construcción recomendado, es - acarrear el material pétreo al camino y acamellónarlo, sacar secciones transversales del camellón para tener seguridad de que el volúmen acarreado es igual al proyectado, para dar el espesor requerido y recibir la cantidad de cemento asfáltico fijado. Esta fase es muy importante pues de ella depende el comportamiento y calidad de la mezcla.

Una vez verificado el volúmen del material pétreo, se extiende en un ancho de tres metros y se le aplica con la petrolizadora la mitad del asfalto requerido. Inmediatamente después que la petrolizadora ha dado el riego, se procede a revolver con la motoconformadora.

Cuando la revoltura se ha homogenizado, se aplica la otra mitad del asfalto y se procede nuevamente a revolver hasta que la mezcla alcanza su uniformidad en color y consistencia.

En estas condiciones se acamellona en uno de los - acotamientos del camino y se deja durante un período de 24 - hrs. con el fin de que le volaticen los solventes restantes. A continuación se somete a una prueba de campo para verificar si la muestra contiene aún solventes. Esta prueba consiste en tomar con la mano una cantidad de mezcla, la cual se ---- comprime con la palma de la mano y posteriormente se desecha, si se observan manchas de solventes en la palma de la mano -

significará que la mezcla conserva aún alta cantidad de solventes y por lo tanto se debe proceder a revolverla hasta pasar la prueba descrita.

Según las especificaciones de la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, el máximo de solvente que contenga la mezcla antes de iniciar su tendido, deberá ser de 0.008 % máximo con respecto al total de solventes que contiene dicho producto asfáltico.

Una vez que la mezcla ha perdido casi la totalidad de sus solventes, se deberá aplicar el riego de liga correspondiente, a razón de 0.5 Lts./m<sup>2</sup>, para iniciar después el tendido de la mezcla.

Extendida la carpeta en el ancho requerido, se compactará con aplanadora metálica y rodillo neumático, dando primero una pasada con la aplanadora metálica, para proseguir la compactación con el rodillo neumático, hasta que la carpeta alcance la compactación especificada, la cual deberá ser al 95 %.

b) ELABORACION DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE. CONOCIDAS COMO CONCRETO ASFALTICO.

Las mezclas asfálticas en caliente son las que proporcionan las carpetas de mejor calidad. Están formadas de un material pétreo bien graduado y cemento asfáltico como ligante. Se elaboran en una planta que caliente el material

ótreoa 160 °C o a 150 °C y el asfalto a una temperatura de - - 140 a 150 °C y se dosifica, mezcla y tiende conservando aún - una temperatura elevada.

Las instalaciones de la planta están capacitadas pa ra que después que el material esté caliente y seco, se sepa ra en diversos tamaños y se mezcla de acuerdo con un diseño - granulométrico específico incorporándole a continuación el ce mento asfáltico, en la cantidad determinada por el proyecto.

Las mezclas terminadas se transportarán en camiones y deberán cubrirse con una lona con el propósito de que con-- serven su temperatura y evitar contaminaciones, hasta llegar a la extendedora que efectúa el trabajo en capas uniformes, - en el espesor y anchos requeridos. Después de esta etapa, es tando la mezcla a una temperatura superior a 90 °C se - - - compacta hasta obtener la densidad específica. No debe ini-- ciarse la compactación a temperaturas inferiores de 80 °C, si se quiere que la compactación sea efectiva y se debe suspen-- der el planchado al llegar a los 60 °C.

La planta estacionaria para la elaboración de mez--- cia asfáltica consta de los siguientes elementos:

1.- Tolvas de alimentación de materiales en frío.-- De preferencia en número de tres.

2.- Secador con inclinación variable colocado antes de las cribas clasificadoras y con capacidad suficiente para-



secar una cantidad de material pétreo igual o mayor que la capacidad de producción de concreto asfáltico de la planta. A la salida del secador debe haber un termómetro para registrar automáticamente la temperatura del material pétreo.

3.- Cribas para clasificar el material pétreo, cuando menos en tres tamaños, con capacidad suficiente para mantener siempre en las tolvas material disponible para la mezcla.

4.- Tolvas para almacenar material pétreo en caliente que son protegidas de la lluvia y del polvo y con una capacidad tal que asegura la operación de la planta cuando menos durante 15 minutos sin ser alimentados.

5.- Dispositivos que permiten dosificar los materiales pétreos por peso o por volúmen. Estos admiten un fácil -- ajuste de la mezcla en cualquier momento, para obtener la curva granulométrica del proyecto con cierta tolerancia, que para el caso de las especificaciones generales de construcción de la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas fija un 2 % en cada uno de los tamaños.

6.- Equipo para calentar el cemento asfáltico, instalado de tal manera que no permite contaminaciones y provisto de un termómetro con graduación de 20 a 210 °C que permite controlar la temperatura.

7.- Dispositivos que permiten dosificar el cemento asfáltico por peso o por volúmen, con una aproximación de 2% -

en mas o en menos de la cantidad fijada.

8.- Mezcladora del tipo de producción por peso o -  
contínuas equipada con un dispositivo para el control del --  
tiempo de mezclados.

9.- Recolector de polvo y dispositivos para agre--  
gar finos.

Dependiendo del dispositivo para dosificar los ma-  
teriales péteos, las plantas estacionarias para mezcla asfál-  
tica pueden ser de producción por bacha o contínuas. En las  
de producción por bacha, el material caliente de cada tolva-  
es impulsado en las cantidades necesarias para dar cierta --  
cantidad de mezcla asfáltica a la caja pesadora, pasando des-  
pués al mezclador donde se añade el asfalto. Entonces se --  
mezcla el conjunto durante 1 minuto o minuto y medio, repi--  
tiendo después el ciclo. La capacidad del recipiente mezcla  
dor en la mayoría de las plantas de este tipo suele variar -  
de 1000 a 3000 Kilogramos.

En el tipo de la planta de mezcla contínua, el ma-  
terial procedente de las tolvas de almacenaje en caliente se  
dosifica por medio de compuertas regulables que descargan --  
sobre los alimentadores de material en caliente. Todos los-  
materiales son transportados en forma contínua, el asfalto -  
también fluye continuamente y se regula con una bomba conec-  
tada con el mecanismo de dosificación, de tal forma que se -

obtiene una relación constante de material pétro y asfalto, -- independientemente de la velocidad de producción.

El calentamiento del cemento asfáltico debe realizarse empleando vapor o aceite caliente.

El calentador de aceite caliente controlado con termostato es el medio más efectivo para el calentamiento del asfalto.

Consiste en hacer pasar el aceite caliente a través de un sistema de tubos o serpentinas en el interior del tanque de almacenaje. Con este procedimiento se tiene la ventaja de que se puede mantener el asfalto a temperatura uniforme con un gasto de combustible muy reducido.

Respecto a la temperatura que debe tener la mezcla al salir de la planta, las especificaciones fijan un límite superior de 150 °C, aunque no suele ser necesario producir mezclas a temperaturas superiores de 135°C. La temperatura conveniente de la mezcla al salir de la planta debe fijarse tomando en cuenta la temperatura ambiente y la distancia donde se va a tender.

Antes de proceder al tendido de la mezcla, deberá darse un riego de liga con petrolizadora mecánica, utilizando un material asfáltico de fraguado rápido, generalmente en FR-3, a razón de 0.5 lts / m<sup>2</sup>, este riego se da con anticipación al tendido de la mezcla, con el fin de que adquiriera la viscosidad

adecuada al perder parte del solvente, cubriéndose a mano con una capa delgada del material de la mezcla para que al iniciarse el tendido puedan rodar los camiones que transportan la revoltura, sin levantar en forma irregular pequeñas capas de base impregnada que afecten el riego de liga.

Para el tendido del concreto asfáltico se cuenta con con las máquinas llamadas Extendedoras- Acabadoras, que son -- auto-impulsadas y cuentan con los aditamentos necesarios para tender el material en capas uniformes, sin que se presente segregación por tamaños en la misma.

El tendido de la mezcla se inicia inmediatamente, a la temperatura en que llega la mezcla al camino, aunque tenga que esperarse a que enfríe un poco para iniciar la compactación.

La formación de la carpeta debe hacerse con una uniformidad total, que después de compactada no deben sentirse -- topes, ni depresiones. Los bordos que aparezcan en las puntas \* longitudinales y transversales, son el resultado de un trabajo descuidado.

Para la compactación de las mezclas asfálticas, el -- equipo que generalmente se utiliza es el siguiente:

1.- Aplanadora metálica TANDEM de 10-12 toneladas.

2.- Rodillo neumático de 10-12 Toneladas.

El grado de compactación que generalmente se especi-

fica es el 95% del peso volumétrico máximo.;

c) COMPACTACION Y TENDIDO DE MEZCLAS ASFALTICAS EN GENERAL .

Después de extender la mezcla, tal y como se explica en el párrafo anterior, estará completa y uniforme -- compactada con aplanadora Tandem de 10 a 12 Tons. auxiliada -- con rodillo neumático. Tan pronto como la mezcla aguante el -- aplanado sin deslizamiento indebido, no tolerando dilataciones en el aplanado. El empleo de un vibrador en la compactación puede ser muy útil en muchos casos. Este comenzará longitudinalmente en los bordes y procederá hacia el eje del pavimento excepto en las curvas peraltadas, que procederá el -- del borde inferior al superior, traslapando en sucesivos viajes por lo menos una mitad del ancho de la rueda trasera. Se hará viajes alternados de la aplanadora, con longitudes ligeramente diferentes. Donde el ancho lo permita, el pavimento será aplanado en diagonal, en dos direcciones con una aplanadora Tandem que pese de 10 a 12 Tons. ; el segundo aplanado -- diagonal cruzando las marcas del primero.

La velocidad de la aplanadora no excederá de 5 Km/hr. y en todo momento será suficientemente lenta para evitar el desplazamiento de la mezcla caliente, y cualquier desplazamiento que ocurra cuando cambie la aplanadora de dirección, o por otra razón, debe ser corregido usando rastrillos y nue-

va mezcla donde y cuando se necesiten.

El aplanado se continuará hasta que todas las marcas de la aplanadora desaparezcan y habiendo alcanzado el 95% requerido. Para evitar la adherencia de la mezcla en la rueda de la aplanadora, éstas se mantendrán humedecidas constantemente sin permitir ningún exceso de agua. A lo largo de brocales, colectores, bocas de visita y estructuras análogas, y en todos los lugares inaccesibles a la aplanadora, la compactación completa se debe hacer por medio de pisones ca-lientes.

d) PRUEBA DE LABORATORIO PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE LAS CARPETAS.

Estas pruebas encuentran su campo mas amplio de aplicación en el control de la elaboración de mezclas asfálticas, en donde deben implantarse como sistema rutinario para verificar tanto el contenido de cemento asfáltico presente en la mezcla, como para obtener el agregado pétreo necesario para la comprobación de su granulometría. Se aplica también en el caso de carpetas ya construídas con fines de investigación, principalmente cuando se presentan fallas en la carpeta asfáltica. En la determinación del contenido de cemento asfáltico de mezclas ya elaboradas y en carpetas ya construídas se emplean comunmente 2 métodos.

El método de colorímetro o el (método de Rotarex) o -

extractor centrífugo.

1.- Método del colorímetro.

La determinación del contenido de cemento asfáltico por el método del colorímetro se basa en la comparación de una solución de asfalto en tetracloruro de carbono, cuya concentración se desea conocer con soluciones de concentraciones conocidas.

Las diferentes concentraciones de asfalto producen diferentes intensidades de color y la determinación de la concentración buscada se hace comparándola con cada uno de los colores tipo, hasta encontrar el de igual intensidad.

Como los colores tipo sufren variaciones con el tiempo, causadas por la acción de la luz, o por reacciones químicas entre el asfalto y el tetracloruro de carbono, es necesario compararlo con frecuencia con soluciones de concentración conocida, elaboradas precisamente con los productos asfálticos que están siendo utilizados, y de existir alguna discrepancia, se aplicará un factor de corrección al color tipo, según se explica con más detalle más adelante.

Las ampollitas con los colores tipo únicamente deberán exponerse a la luz el tiempo necesario para hacer las comparaciones, con el objeto de preservarlas de cambios en su coloración.

Si a pesar de estas precauciones sufren cambios no--

tables las coloraciones de las soluciones, deberá sustituirse el juego de colores tipo por un recientemente elaborado.

Si se observa turbidez en las soluciones del colorímetro, deberán deshacerse los colores tipo defectuosos y sustituirse con soluciones recientemente elaboradas. El equipo de prueba deberá ser:

Un colorímetro consistente en un comparador provisto de un vidrio no pulido y un juego de soluciones tipo correspondiente a las concentraciones comprendidas entre 2 cienmilésimos (0.0002) y 40 cienmilésimos (0.00040) de gramo de asfalto/m<sup>3</sup>, tubos de ensaye aforados a un volúmen de 20 cm<sup>3</sup>., una balanza de 2kgs. de capacidad y sensibilidad de 1 décimo de gramo.

Una balanza de 100 Kgs. de capacidad y sensibilidad de un centésimo de gramo, una pipeta graduada de 2 cm<sup>3</sup>., matrás aforado de 100 cms<sup>3</sup>., frascos de vidrio con tapa de 500- y 1,000 cms<sup>3</sup>. de capacidad, tetracloruro de carbono, charolas de lámina.

El método de prueba es como sigue:

De la mezcla asfáltica, que deberá ser representativa, se tomará por cuarteo una muestra para verificar la determinación del contenido de asfalto a la cual deberán evaporarse los solventes y la humedad que contenga. Esto se conseguirá calentando la charola con la muestra en una parrilla o



en una lámpara, teniendo cuidado de no provocar un sobrecalentamiento. Una vez eliminados solventes y humedad, se pesará la muestra, que deberá ser en cantidad aproximada de -- 200 grs. cuando se trate de mezclas de arena-asfalto o de -- 500 grs. si se trata de mezclas con agregados mayores de -- 1/2". Se colocará la mezcla dentro de un frasco de capacidad adecuada, el cual haya sido tarado previamente en la balanza de sensibilidad al decigramo. Frasco y mezcla se pesarán con aproximación de un décimo de gramo; de este peso se restará el peso del frasco obteniéndose el peso de la mezcla, el cual se anotará en una hoja de registro.

La cantidad de solvente (tetracloruro de carbono) que se emplee para la extracción del asfalto de la mezcla -- asfáltica, estará de acuerdo con la cantidad de mezcla empleada, tomando de uno a dos centímetros cúbicos de tetracloruro de carbono para cada gramo de muestra asfáltica.

Se empleará la mayor parte de solvente en proporción cuando se estime que el porcentaje de asfalto exceda -- del 4%. La cantidad de solvente empleada en la prueba se -- anotará en la hoja de registro.

Colocado el solvente dentro del frasco en que se encuentra la mezcla se cerrará este herméticamente y se procederá a separar el asfalto del material pétreo por medio de una agitación vigorosa, continuándose la operación hasta que

el material pétreo se encuentre limpio; se dejará en reposo - el frasco por un período de 15 minutos, o el tiempo necesario para que se sedimenten las partículas finas y no alteren la - determinación colorimétrica. De la parte superior del líquido que se encuentra en el frasco se extraerá por medio de una pipeta graduada dos cm<sup>3</sup>., si la dilución es aproximadamente - 1 cm<sup>3</sup>. de solvente por gramo de muestra; ó 4 cm<sup>3</sup>. si la dilución es aproximadamente de 2 cm<sup>3</sup>. de solvente por gramo de -- muestra, los cuales se vertirán en un tubo de ensaye aforado a 20 cm<sup>3</sup>., se llenará el tubo de ensaye con tetracloruro de - carbono limpio hasta la marca de calibración. Tapando la boca del tubo se invertirá éste para homogenizar el contenido.- Esta primera dilución se anotará en la hoja de registro como dilución 2/20 o 4/20. Enseguida se hará una segunda dilución tomando de la anterior por medio de la pipeta 1 cm<sup>3</sup>., que se colocará en otro tubo de ensaye calibrado también a 20 cm<sup>3</sup>, - se completará el contenido hasta la marca con tetracloruro de carbono y se invertirá el tubo para homogenizar el color de - la solución, obteniéndose así una segunda dilución 1/20. El líquido de la segunda dilución se colocará en un tubo de ensaye y se procederá la comparación colorimétrica hasta encontrar cual de los colores tipo coincide en intensidad de color con - él. Se anotará en la hoja de registro el número de tubo y la concentración correspondiente. Si la intensidad del color de-

la solución resulta muy baja, se podrá duplicar la concentración tomando de la primera dilución 2 cm<sup>3</sup> en lugar de 1 cm<sup>3</sup> y completando con tetracloruro de carbono el volumen, hasta 20-cm<sup>3</sup>, para obtener una segunda dilución  $2/20 = 1/10$ . Cuando la intensidad del color de la solución no coincida con la de algún color tipo, es decir, que quede comprendida entre dos tubos consecutivos, deberá interpolarse, en aproximación máxima de 1/2. La cantidad de cemento asfáltico/ cm<sup>3</sup> que corresponda a cada uno de los colores tipo, se obtendrá multiplicando por dos cienmilésimos (0.00002) el número correspondiente a cada color tipo, es decir, que el número uno corresponderá a una concentración de dos cienmilésimos de gramo de asfalto por centímetro cúbico; el color tipo 2 una concentración de cuatro cienmilésimas de gramo por centímetro cúbico, etc. Para mayor claridad a continuación se da una tabla en donde aparecen las concentraciones de asfalto de los colores tipo, dadas en gramos de cemento asfáltico por centímetro cúbico.

Tubo No.	Gramos de C.A. por cm <sup>3</sup>	Tubo No.	Gramos de C. A. por cm <sup>3</sup>
1	0.00002	11	0.00022
2	0.00004	12	0.00024
3	0.00006	13	0.00026
4	0.00008	14	0.00028
5	0.00010	15	0.00030

6	0.00012	16	0.00032
7	0.00014	17	0.00034
8	0.00016	18	0.00036
9	0.00018	19	0.00038
10	0.00020	20	0.00040

2.- El método del Rotarex o de extracción centrífuga.

El empleo del aparato denominado Rotarex o extractor centrífugo, proporciona un medio útil para comprobar el porcentaje de cemento asfáltico presente en una mezcla ya elaborada.

Además permite efectuar un análisis granulométrico--del agregado al finalizar la prueba de atracción del cemento - asfáltico.

La prueba se efectúa de la siguiente manera:

Una muestra de 500 grs. aproximadamente, calentada, - se pesa y se coloca en la tasa del extractor. Se le vierte un disolvente adecuado como el tetracloruro de carbono, sulfuro--de carbono, benzol o cloroformo, en la tasa mediante un embudo, se cubre la tasa con un papel filtro, se tapa en forma segura y se le hace girar hasta que el disolvente haya salido por el orificio de descarga. Esta operación de lavado se repite hasta que hayan desaparecido todos los restos de cemento asfáltico, lo cual se nota cuando el disolvente salga de color claro, limpio, entonces se quita la tapadera y se pone a secar la - -

muestra. Cuando la muestra se haya secado, se pesa junto con el material fino que haya quedado adherido al papel filtro. - En el caso de que el papel filtro siga teniendo aumento de peso sobre el peso original, este aumento se debe a la impregnación del polvo, por lo que debe sumársele el peso de la muestra seca, y la cantidad total se resta del peso original de la muestra, obteniéndose de esa manera el peso de cemento asfáltico extraído. Dividiendo el peso de cemento asfáltico entre el peso del agregado pétreo y multiplicándolo por 100 - dá el porciento de cemento asfáltico presente en la mezcla -- ensayada.

### 3.- Pruebas de permeabilidad en carpetas.

Esta prueba tiene gran importancia ya que sus resultados indican si existe la posibilidad de que el agua proveniente de las lluvias o escurrimientos superficiales penetre a través de las grietas que presente la carpeta, provocando un humedecimiento de la base existente, o bién un desprendimiento de la película de asfalto en el interior de la carpeta, cuando los materiales que la forman presenten características hidrófilas.

El equipo necesario será:

Un anillo de lámina de 25 cms. de diámetro interior y 5 cms. de altura.

Un cono de bronce de 1" de altura y 3/4" de diáme--

tro en la base.

Probetas graduadas de 200 y 1000 cc.

Parafina, cemento asfáltico, mastique, plastilina -  
o una mezcla de parafina y brea por partesiguales.

Una estufa de gasolina.

Una espátula y un recipiente con agua.

El procedimiento de prueba es como sigue:

En el sitio para hacer la prueba, se colocará sobre la carpeta el anillo de lámina. Entre la pared exterior del anillo y la carpeta se colocará un cordón de 2 cms. de diámetro del material que va ha ser utilizado para sellar, (parafina, cemento asfáltico) se presionará con los dedos para sellar los huecos entre anillo y carpeta e impedir fugas de agua que se vaciará dentro del anillo.

En el centro del depósito se colocará el cono metálico y se vaciará el agua hasta el nivel marcado por el vértice del cono, para compensar la pérdida por la filtración, en la cantidad necesaria para mantener constante el nivel por un período de 10 minutos, que se contarán a partir del momento en que se alcanza por primera vez la altura especificada.

El volumen total de agua que se filtra através de la carpeta expresada como porcentaje del volumen del depósito, -- representará el índice de la permeabilidad de la carpeta, el cual no debe ser mayor de 10 %.

$$\text{Indice de permeabilidad} = \frac{V_f}{v_t} \times 100 = 0.08 V_f$$

siendo:

$V_f$  = Volumen filtrado durante el tiempo de prueba -  
de 10 minutos, en cms<sup>3</sup>.

$V_t$  = Volumen total del depósito = 1247 cm<sup>3</sup> para las  
dimensiones especificadas.

e) ESPECIFICACIONES.

Las mezclas asfálticas elaboradas con materiales --  
pétreos graduados, deberán satisfacer los siguientes requisi-  
tos:

- 1.- Las mezclas que se elaboren con cemento asfál<sup>t</sup>i  
co, deberán cumplir para dicho objeto con los -  
siguientes requisitos:
  - A) Para el procedimiento Marshall los conteni==  
dos en el cuadro número III-1
  - B) Para el procedimiento Hveem los contenidos -  
en el cuadro número III-2
- 2.- Las mezclas que se elaboren con emulsiones asfál<sup>t</sup>i  
ticas que no contengan disolventes, deberán - -  
cumplir con los requisitos de estabilidad indi-  
cados en las tablas III-1 y III-2, de acuerdo -  
con el procedimiento utilizado y además, con los  
de por ciento de vacíos citados en la tabla III-3.

- 3.- Las mezclas que se elaboran con asfaltos rebajados o emulsiones, proyectados de acuerdo con el procedimiento de pruebas de compresión sobre cilindros, deberán cumplir para dicho objeto con los requisitos fijados en el cuadro número III-3.

Las condiciones para el uso adecuado de las mezclas asfálticas se indican a continuación:

- a) Los contenidos de humedad y disolventes para el tendido y compactación de mezclas asfálticas y el contenido de cemento asfáltico, deberán quedar dentro de los límites fijados en el siguiente cuadro A.
- b) Los espesores compactos de las capas, en relación con el tamaño máximo del material pétreo deberán fijarse de acuerdo con lo que se indica en el siguiente cuadro B.
- Los espesores máximos anotados solo son aplicables en el caso de que se utilicen mezclas con asfaltos rebajados o emulsiones con disolventes; en estos casos cuando el proyecto señale un espesor mayor se deberán construir dos o más capas.
- c) La mezcla asfáltica deberá ser compactada al 95% mínimo de su peso volumétrico máximo.



- d) Las mezclas asfálticas usadas para carpetas deberán tener un valor de permeabilidad menor de - 10%, efectuando la prueba inmediatamente después de que la carpeta se haya terminado de construir.

CARACTERÍSTICAS	USO DE LA MEZCLA ASFALTICA ELABORADA CON CEMENTO ASFALTICO	PARA CARRETERAS		PARA AERO- PISTAS
		TRANSITO DIARIO EN AMBOS SENTIDOS		
		Hasta 2,000 Vehiculos Pesados ( a )	Más de 2,000 Vehiculos Pesados ( a )	
Número de golpes por cara ----- Estabilidad mínima, Kilogramos-----	Para carpetas, capas de renivelación, bases asfálticas y bacheo-----	50	75	75
Flujo, en milímetros-----	Para carpetas, capas de renivelación, bases asfálticas y bacheo-----	450	700	700
Por ciento de vacíos en la mezcla, respecto al volumen del espécimen. (b)-----	Para carpetas y mezclas de renivelación-----	2-4.5	2-4	2-4
Por ciento de vacíos en el agregado mineral (VAM), respecto al volumen del espécimen de mezcla, de acuerdo con el tamaño máximo del material pétreo, mínimo. (b)-----	Para bases asfálticas-----	3-5	3-5	3-5
	Para bases asfálticas y bacheo-----	3-8	3-8	3-8
	Para carpetas de renivelación, bases asfálticas y bacheo-----	18	18	18
	Para bases asfálticas y bacheo-----	17	17	17
	Para bases asfálticas y bacheo-----	16	16	16
	Para bases asfálticas y bacheo-----	15	15	15
	Para bases asfálticas y bacheo-----	14	14	14
	Para bases asfálticas y bacheo-----	13	13	13

- a) Se consideran como vehículos pesados los camiones en todos sus tipos y los autobuses .  
b) Los porcentos de vacíos de la mezcla y del material pétreo, respecto al volumen del espécimen, deberán determinarse de acuerdo con el procedimiento descrito en el Capítulo II.

FIGURA III-1

CARACTERISTICAS	PARA CARRETERAS		PARA AUTOPISTAS	
	Tránsito diario en ambos sentidos. En vehículos Pesados ( a )		Aviones en peso total, en toneladas.	
	De 1,000 a 2,000	Más de 2,000	Hasta 20	Más de 20
Valor del estabilómetro, mínimo -----	35	37	37	40
Expansión en mm, máxima-----	0.76	0.76	0.76	0.76
Por ciento de vacíos en la mezcla, respecto al volumen del espécimen, mínimo-----	4	4	4	4

(a) Se consideran como vehículos pesados los camiones en todos sus tipos y los autobuses .

FIGURA III-2

CARACTERISTICAS		PARA CARRETERAS			PARA AEROPISTAS		OBSERVACIONES
		TRANSITO DIARIO EN AMBOS SENTIDOS DE VEHICULOS PESADOS			PESO DE LOS AVIONES QUE OPEREN		
		(b)					
		Menos de 500	de 500 a 1,000	Más de 1,000	Hasta 20 Toneladas	Más de 20 Toneladas	
Resistencia mínima en Kg/cm <sup>2</sup> -----		2,5	4,0	En general - no debe usarse este tipo de mezclas.	5,0	En general no debe usarse este tipo de	Valores Tentativos
Por ciento de vacíos, mínimo (a)	Con material - de graduación gruesa o fina.	7	7		En general - no debe usarse este tipo de mezclas.		
	Con material - de graduación intermedia	4	4		4		

- (a) El por ciento de vacíos especificado en cada caso, deberá ser calculado de acuerdo con el procedimiento descrito en el Capítulo II.
- (b) Se consideran como vehículos pesados los camiones en todos sus tipos y los autobuses.

FIGURA III-3

MATERIAL ASFALTICO EMPLEADO EN LA ELABORACION DE LAS -- MEZCLAS	Tolerancia del contenido de cemento - asfáltico con respecto al por ciento de proyecto, en peso.	Contenido de agua libre - permitido. Por ciento en peso de - la mezcla asfáltica.	Relación de disolventes a cemento - asfáltico, en peso. - (Valor K)
Cemento asfáltico rebajado.	+ 5%	1	cero
Emulsión asfáltica con disolventes.	+ 10%	1	0.05 a 0.08
Emulsión asfáltica con disolventes.	+ 10%	...	0.05 a 0.08
Emulsión asfáltica con disolventes.	+ 10%	...	Cero

Cuadro A

TAMAÑO MAXIMO DEL MATERIAL PETREO (mm)	ESPESOR COMPACTO DE LAS CAPAS DE -- CARPETA, (CMS).	
	Min.	Máx.
4.76 (Num. 4)	2.0	3.0
6.35 (Num. 1/4")	2.0	3.5
9.52 (Num. 3/8")	3.0	4.0
12.70 (Num. 1/2")	3.0	5.0
19.03 (Num. 3/4")	3.0	6.0
25.40 (Num. 1")	4.0	7.0

Cuadro B

## C A P I T U L O   I V

### CARPETAS DE RIEGO DE MATERIALES PETREOS

Se denomina tratamientos superficiales a las carpetas esfálticas elaboradas por el sistema de riegos ya sean simples, doble o triple.

Tradicionalmente se ha designado con el nombre de tratamiento superficial simple, a la capa de agregado colocado sobre una película de asfalto previamente extendida sobre la superficie del camino.

No obstante el término "Tratamiento Superficial Simple", es un tanto ambiguo, pues lo mismo se usa para designar un riego de sello que una carpeta de un riego, y aunque de hecho ambos elementos estructurales se diseñan y construyen en forma similar, las funciones que desempeñan son diferentes, por lo cual es pertinente una distinción entre éstos términos.

Un tratamiento Superficial Simple se designa como carpeta de un riego cuando se construye directamente sobre la capa de base del pavimento, y se designa como Riego de Sello cuando se coloca sobre una carpeta existente. Así pues, la diferencia entre carpeta de un riego y riego de sello es de carácter puramente funcional.

La construcción de una Carpeta de un Riego, implica la colocación de una Carpeta totalmente nueva que aunque muy simple tiene las mismas funciones que cualquier otra de mejor tipo, con

la diferencia, de que no agrega resistencia estructural al pavimento, por lo cual, las capas superiores deben diseñarse para que por si solas absorban los esfuerzos normales producidos por el tránsito.

El Riego de Sello en cambio, implica un mejoramiento de una carpeta existente sea de reciente construcción o no, por lo que es muy usado en trabajos de conservación o reconstrucción.

Entre las carpetas, las de un riego constituyen el tipo más elemental, y consecuentemente las de menor costo y los -- más fáciles de construir, pero dado su poco espesor y aparente -- fragilidad, su uso se ha restringido a caminos con bajos volúmenes de tránsito.

a) APLICACION DE LOS TRATAMIENTOS SUPERFICIALES PARA LA ELABORACION DE CARPETAS ASFALTICAS.

1.- Tratamiento Superficial Simple.

Sobre la base de pavimento ya conformada, compactada, -- impregnada y seca, se dá un riego de producto asfáltico del tipo FR-3 a razón de 1.5 a 2.0 lts./m<sup>2</sup>, e inmediatamente se cubre --- con material pétreo Núm. 3A (clasificado entre las mallas de - - 3/8" a Núm. 8 ) a razón de 6 a 8 lts./m<sup>2</sup>; se rastrea para uni--- formar la superficie y se compacta con plancha liviana de 5 a 8-Ton. de peso, pudiendo abrirse el tránsito unos días después, de biendo barrerse de la superficie el material pétro sobrante para evitar que vaya a formar ondulaciones en la carpeta. Esta car--

petas asfálticas es aconsejable para tránsito superior a 200 vehículos por día, en zonas de alta precipitación pluvial conviene mejor colocar un tratamiento superficial doble, para mayor eficiencia y mayor duración del pavimento.

### 2.- Tratamiento Superficial Doble.

Sobre la base del pavimento ya conformada, compactada, impregnada y seca, se dá un riego de producto asfáltico, tipo FR-3 a razón de 1.5 lts./m<sup>2</sup>, e inmediatamente se cubre con material pétreo Núm. 2 (clasificado entre las mallas 1/2" y 1/4"), a razón de 12 a 14 lts./m<sup>2</sup> se rastrea y se plancha con aplanadora liviana de 5 a 8 Ton. de peso, dos o tres días después se barre y se le dá un nuevo riego de producto asfáltico tipo FR-3 a razón de 1.0 a 1.5 lts./m<sup>2</sup> y se cubre inmediatamente con material pétreo Núm. 38 (clasificado entre las mallas de 1/4" y Núm. 8) se rastrea para uniformar la superficie y se plancha con aplanadora pequeña de 5 a 8 Ton. de peso, tres días después puede abrirse al tránsito. Posteriormente debe retirarse el material pétreo sobrante. Este tipo de carpeta asfáltica es aconsejable para un tránsito inferior a 600 vehículos/día.

### 3.- Tratamiento Superficial Triple.

La carpeta asfáltica formada por tres riegos se construye de la manera siguiente:



Sobre la base de pavimento ya conformada, compactada, impregnada y seca, se dá un riego de producto asfáltico del tipo FR-3 a razón de 2.5 lts./m<sup>2</sup>, e inmediatamente se cubre con material pétreo Núm. 1 (clasificado entre las mallas 1" y 1/2") a razón de 20 a 22 lts./m<sup>2</sup>, se rastrea y se plancha con aplanadora pequeña de 5 a 8 Ton. de peso, dos o tres días después se barre el material pétreo sobrante y se coloca una carpeta de dos riegos sobre ésta, quedando así terminada la carpeta de tres riegos. Esta carpeta asfáltica admite perfectamente bien los 1000 vehículos/día.

b) ESPECIFICACIONES.

Las carpetas construídas por sistemas de riego deberán cumplir con las siguientes normas:

1) Granulometría. Se indica en el siguiente cuadro.

GRANULOMETRIA PARA TRATAMIENTOS SUPERFICIALES	
MATERIAL No.	PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA
0	2".....100 1 1/2"..... 95 - 1"..... 5 - 1/2"..... 0
1	1 1/4".....100 1"..... 95 1/2"..... 5 1/4"..... 0
2	3/4".....100 1/2"..... 95 1/4"..... 5 No. 8..... 0
3A	1/2".....100 3/8"..... 95 - No. 8..... 5 - No. 40..... 0
3B	3/8".....100 1/4"..... 95 - No. 8..... 5 - No. 40..... 0
3E	1/2".....100 3/8"..... 95 No. 4..... 5 No. 8..... 0

NOTA: El signo delante de los números indican o más o menos, - así 95 -, significa 95 % o más y 5 -, significa 5 % o menos, cuando se emplee únicamente el material Núm. 3 como en el tratamiento superficial simple es decir en el riego de sello, debe emplearse un material poco mayor o sea el 3A o el 3E.

## II) Permeabilidad.

Las carpetas construídas por el sistema de riego deberán tener un valor máximo de permeabilidad de 10%, efectuando - la prueba inmediatamente después de que la carpeta se haya terminado de construir.

berán tener un valor máximo de permeabilidad de 10 %, efectuando la prueba inmediatamente después de que la carpeta se haya--  
terminado de construir.

## C A P I T U L O V

### PRESUPUESTO DE UNA CARPETA ASFALTICA

En este capítulo se analizará el costo de una carpeta asfáltica empleando los principales procedimientos de - - - construcción.

Para tal efecto consideramos un tramo de un Kilómetro de longitud, con un ancho de carpeta asfáltica de 7.00 metros y suponiendo un espesor de 6.00 centímetros compactos.

En cuanto a los materiales pétreos supondremos que -- cumplen con las pruebas de laboratorio especificadas por la SAHOP.:

DATOS :

1.- Costos horarios de maquinaria:

Motoconformadora	\$	433.08 / h
Petrolizadora de 4100 Lts.	\$	314.13 / h
Tractor D-6	\$	466.80 / h
Cargador frontal 1 3/4 Yd3	\$	475.62 / h
Cargador frontal 3/4 Yd3	\$	383.52 / h
Camión activo 6 m3	\$	185.44 / h
Camión inactivo 6 m3	\$	62.25 / h
Quebradora de cono 4'	\$	974.51 / h
Planta de luz 200 KW	\$	149.98 / h
Compactador CA - 25	\$	396.08 / h

Compactador neumático de 13 ruedas	\$	40.01 /h
Tractor agrícola	\$	105.22 /h
Acabadora	\$	355.11 /h
Esparcidor	\$	82.18 /h
Plancha Tandem 6-8 Ton.	\$	224.47 /h
Plancha de asfalto de 2,000 Lb.	\$	1621.77 /h
2.- Factor de abundamiento		1.20
3.- Asfalto para carpeta		100 Lts/M3
4.- Distancia del banco de materiales a planta de trituración		1 Km.
5.- Distancia de planta de trituración a almacén de materiales pétreos.		1 Km.
6.- Distancia del almacén al tramo.		8 Km.
7.- Distancia de planta trituradora a planta mezcladora.		1 Km.

A.- ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE UNA CARPETA  
DE MEZCLA ASFALTICA EN EL LUGAR.

1.- Extracción de materiales del banco y acarreo al almacén --  
de la planta trituradora.

a) Despalme del banco:

Espesor 0.50 m

Espesor utilizable 2.50 m

El despalme se realizará con un tractor D-6, Rendimien

to de 80 m<sup>3</sup>/h.

$$\frac{\$ 466.80/h}{80 \text{ m}^3/h} = \$ 5.83 \text{ m}^3 \text{ sueltos}$$

Costo por metro cúbico de carpeta:

$$\frac{\$ 5.83/M^3 \times 0.50 \text{ m} \times 1.20}{2.50 \text{ m}} = \$ 1.40/m^3$$

b) Extracción y carga.

Se usará un cargador frontal de 1 3/4 Yd<sup>3</sup>.

Rendimiento 60 M<sup>3</sup>/h

$$\frac{\$ 475.62/h \times 1.20}{60 \text{ M}^3/h} = \$ 9.51/m^3$$

c) Acarreo al almacén de la planta trituradora

Se acarreará con camiones de 6 M<sup>3</sup>.

Tiempo del ciclo del camión:

Tiempo de transporte; 2 Km. a 20 Km/h = 6 min.

$$\text{Tiempo de descarga} = \frac{1 \text{ min.}}{7 \text{ min.}}$$

Costo de camión activo

$$\frac{\$ 185.44/h \times 7 \text{ Min.} \times 1.20}{60 \text{ Min./h} \times 6 \text{ M}^3} = \$ 4.32/m^3$$

Costo de camión inactivo. carga 3 Min.

$$\frac{\$ 62.25/h \times 3 \text{ Min.} \times 1.20}{60 \text{ Min./h} \times 6 \text{ M}^3} = \$ 0.62/m^3$$

---


$$\$ 15.85/m^3$$

## 2.- Trituración.

a) Alimentación a la planta.

Esta se hará con un cargador frontal de 3/4 Yd<sup>3</sup>

Rendimiento de 40 M3/h.

$$\frac{\$ 383.52/h \times 1.20}{40 \text{ M3/h}} = \$ 11.50 \quad \$ 11.50/m^3$$

b) Trituración. Tamaño máximo 3/4"

Se hará con trituradora de cono de 4'

Rendimiento 40 M3/h

Costo horario:

Trituradora                    \$ 974.51/h

Planta de Luz                \$ 149.98/h  
\$1,124.49/h

$$\frac{\$ 1,124.49/h \times 1.20}{40 \text{ M3/h}} = 33.73 \quad \$ 33.73/m^3$$

c) Personal en trituración.

1 cabo \$ 155.00 / turno/8 hr.        =    \$ 19.37/h

5 peones \$ 122.50/turno/8 hr.        =    \$ 76.56/h  
\$ 95.93/h

\$ 95.93/h x 1.20 = \$ 2.87                                    \$ 2.87/m<sup>3</sup>

---

\$ 48.10/ m<sup>3</sup>

3.- Carga y acarreo local al almacén de materiales.

a) Carga de los camiones en la planta trituradora

Se usará un cargador frontal de 3/4 yd<sup>3</sup>

Rendimiento 50 M3/h

$$\frac{\$ 383.58/h \times 1.20}{50 \text{ m3/h}} = \$ 9.20 \quad \$ 9.20/m^3$$

## b) Acarreo al almacen.

Se acarreará con camiones de 6M3

Tiempo del ciclo del camión:

Tiempo de transporte; 2 Km. a 20 Km/h = 6 min.

Tiempo de descarga  $\frac{= 1 \text{ min.}}{7 \text{ min.}}$

Costo de camión activo.

$$\frac{\$ 185.44/h \times 7 \text{ min.} \times 1.26}{60 \text{ Min./h} \times 6 \text{ M3}} = 4.32 \quad \$ 4.32/m3$$

Costo de camión inactivo. Carga en 3 min.

$$\frac{\$ 62.25/h \times 3 \text{ Min.} \times 1.20}{60 \text{ min./h} \times 6 \text{ M3}} = 0.62 \quad \$ 0.62/m3$$

---



---

\$ 14.14/m3

## 4.- Carga y acarreo del almacen al tramo.

## a) Carga en el almacen

Para esto se usará un cargador frontal de 3/4 yd3

Rendimiento de 50 M3/h

$$\frac{\$ 383.52/h \times 1.20}{50 \text{ M3/h}} = 9.20 \quad \$ 9.20/m3$$

## b) Acarreo al tramo.

Se hará con camiones de 6 m3

Tiempo del ciclo del camión:

Tiempo de transporte; 16 Km. a 30 Km/h = 32 min.

Tiempo de descarga  $\frac{= 1 \text{ min.}}{33 \text{ Min.}}$

Costo de camión activo.



$$\frac{\$ 185.44/h \times 33 \text{ Min.} \times 1.20}{60 \text{ Min/h} \times 6 \text{ M3}} = 20.39 \quad \$ 20.39/m^3$$

Costo de camión inactivo. Carga en 3 Min.

$$\frac{\$ 62.25/h \times 3 \text{ Min.} \times 1.20}{60 \text{ Min/h} \times 6 \text{ M3}} = 0.62 \quad \$ 0.62/m^3$$

---


$$\$ 30.21/m^3$$

#### 5.- Incorporación del asfalto.

a) Incorporación de asfalto al agregado pétreo.

Se utilizará una petrolizadora de 4,100 Lts.

Tiempo del ciclo de la petrolizadora.

Tiempo en llenar petrolizadora 120 min.

Tiempo en calentar el asfalto 60 min.

Tiempo de transporte; 16 Km. a 30 Km/h 32 min.

Tiempo de riego:

Para regar un metro cúbico de material pétreo se utilizan 100 Lts. de asfalto, con una petrolizadora de 4, 100 Lts. de asfalto se regarán 41 M3. de material pétreo.

Un metro lineal de la Carpeta analizada contiene 0.42 M3 de material. Para colocar 41.0 m3 se necesitan 97.61 metros lineales de carpeta.

Regando el asfalto a una velocidad de 4 Km/h, necesitaríamos 2.91 Min. para

regar los 97.61 metros lineales.

Tiempo de riego.

2.91 Min.  
214.91 Min.

$$\frac{\$ 314.13/h \times 214.91 \text{ Min.} \times 1.20}{60 \text{ Min/h} \times 41 \text{ M3}} = 32.93 \quad \underline{\underline{\$ 32.93/m3}}$$

#### 6.- Mezclado y tendido.

Se utilizará una motoconformadora.

Rendimiento de 20 M3/h.

$$\frac{\$ 433.08/h \times 1.20}{20 \text{ M3/h}} = 25.98 \quad \underline{\underline{\$ 25.98/m3}}$$

#### 7.- Compactación al 95%

Este concepto se hará con un compactador CA - 25

y un compactador neumático de 13 ruedas.

Rendimiento de 40 M3/h.

Costo horario;

Compactador CA 25	\$ 396.08/h
Compactador neumático	\$ 40.01/h
Tractor agrícola	<u>\$ 105.22/h</u>
	\$ 541.31/h
<u>\$ 541.31/h</u>	= 13.53
40 M3/h	<u>\$ 13.53/m3</u>
COSTO UNITARIO .....	\$ 180.34 / M3
COSTO INDIRECTO MAS	
UTILIDAD 35% .....	<u>\$ 63.12 / M3</u>
PRECIO UNITARIO .....	<u>\$ 243.46 / M3</u>

NOTA: No se incluye precio de asfalto.

B.- ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE UNA CARPETA  
MEZCLA ASFÁLTICA EN PLANTA.

1.- Extracción de materiales pétreos y acarreo al almacén de la planta trituradora.

Del análisis A, concepto 1.-                   \$ 15.85/m3

2.- Trituración.

Del análisis A, concepto 2.-                   \$ 48.10/m3

3.- Carga y acarreo local al almacén de planta mezcladora.

Del análisis A, concepto 3.-                   \$ 14.14/m3

4.- Elaboración de la mezcla en planta.

a) Alimentación a la planta mezcladora.

Se hará con cargador frontal de 3/4 Yd3.

Rendimiento de 20 M3/h.

$$\frac{\$ 383.52/h \times 1.20}{20 \text{ M3/h}} = \$ 23.01/m3$$

b) Elaboración de la mezcla.

Se hará con una planta de asfalto de 2,000 Lb.

Rendimiento de 20 M3/h.

$$\frac{\$ 1,621.77 \times 1.20}{20 \text{ M3/h}} = 97.30/m3$$

\$ 120.31. / m3

5.- Acarreo de mezcla a tendedora.

Se hará en camión, cargando 5 m3 de mezcla.

Distancia promedio 12 Km.

Tiempo del ciclo del camión:

Tiempo de transporte; 24 Km. a 40 Km/h = 36 min.

Tiempo de descarga =  $\frac{10 \text{ min.}}{46 \text{ min.}}$

Costo de camión activo.

$\frac{\$ 185.44/h \times 46 \text{ min.} \times 1.20}{60 \text{ Min/h} \times 5 \text{ m}^3} = \$ 34.20/m^3$

Costo de camión inactivo Carga en 5 min.

Espera en la descarga 10 Min.

$\frac{\$ 62.25/h \times 15 \text{ Min.} \times 1.20}{60 \text{ Min/h} \times 5 \text{ M}^3} \quad \$ 3.73/m^3$

$\$ 37.93 / m^3$

#### 6.- Extendido.

Se ejecutara con una acabadora.

Rendimiento de 20 M<sup>3</sup>/h.

$\frac{\$ 355.11/h \times 1.20}{20 \text{ M}^3/h} = \$ 21.30 / m^3 \quad \underline{\$ 21.30 / m^3}$

#### 7.- Compactación al 95%.

Del analisis A, concepto 7.-  $\$ 13.53 / m^3$

COSTO UNITARIO .....  $\$ 271.16 \text{ m}^3$

Costo INDIRECTO MAS

UTILIDAD 35% .....  $\$ 94.90 / m^3$  --

PRECIO UNITARIO .....  $\$ 366.06/m^3$

NOTA: No se incluye precio de asfalto.

C.- ANALISIS DE PRECIO UNITARIO DE UNA  
CARPETA DE UN RIEGO.

1.- Extracción de materiales y acarreo al almacen de la plan-  
ta trituradora.

Del analisis A, concepto 1.- \$ 15.85/m3

2.- Trituración.

Del analisis A, concepto 2.- \$ 48.10/m3

3.- CARGA Y acarreo local al almacen de  
materiales pétreos.

Del analisis A, del concepto 3.- \$ 14.14/m3

4.→ Carga del almacen al tramo.

Se usará un cargador frontal de 1 3/4 Yd3.

Rendimiento de 80 M3/h.

$\frac{\$ 475.62/h \times 1.20}{80 \text{ M3/h}} = \$ 7.13 / m3$  \$ 7.13/m3

5.- Acarreo al tramo.

Se efectuará con camión de 6 M3.

Tiempo del ciclo del camión:

Tiempo de transporte; 16 Km. a 30 Km/h = 32 Min.

Tiempo de descarga = 30 Min.  
62 Min.

Costo horario de camión activo .

$\frac{\$ 185.44/h \times 62 \text{ Min.} \times 1.20}{60 \text{ Min/ h} \times 6 \text{ M3}} = \$ 38.32/m3$

Costo de camión inactivo. Carga 3 Min.

$$\frac{\$ 62.25/h \times 3 \text{ Min.} \times 1.20}{60 \text{ Min/h} \times 6 \text{ M3}} = \$ 0.26/m3$$

$$\underline{\$ 38.58/m3}$$

6.- Riego del material pétreo

EQUIPO:

Esparcidor \$ 82.18 /h

6 Peones 122.50/Turno 8 hr. \$ 91.97/h

\$ 174.05/h

$$\frac{\$ 174.05/h \times 1.20}{10 \text{ M3/h}} = \$ 20.88/m3 \quad \underline{\$ 20.88/m3}$$

7.- Planchado.

Se usará una plancha Tandem de 6-8 Ton. y un compactador neumático.

Costo horario:

Plancha Tandem \$ 224.47/h

Compactador neumático \$ 40.01/h

Tractor agrícola \$ 105.22/h

\$ 369.70/h

$$\frac{\$ 369.70/h}{40 \text{ M3/h}} = \$ 9.24/m3 \quad \underline{\$ 9.24/m3}$$

COSTO UNITARIO ..... \$ 153.92 / m3

COSTO INDIRECTO MAS

UTILIDAD 35% ..... \$ 53.87 / m3

PRECIO UNITARIO ... . . . \$207.79 / m3

## C A P I T U L O VI

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

Referente a los métodos de diseño para la elaboración de mezclas que se construyen en el lugar o en planta estacionaria, se puede concluir lo siguiente:

Para el caso de mezclas hechas en el lugar, los métodos de diseño empleados ya comentados en el capítulo II, son el de Fórmulas Empíricas, el de Compresión sin Confinar y el de Absorción de Kerosina.

Los dos primeros métodos (Fórmulas Empíricas y Compresión sin Confinar) se complementan, ya que el primero nos proporciona el contenido mínimo de asfalto para cubrir las partículas de agregado pétreo y el segundo nos calcula el contenido óptimo de asfalto para lograr una buena estabilidad de la carpeta. Estos dos métodos son los que sigue la SAHOP para diseñar mezclas en el lugar.

Respecto al método de Absorción de Kerosina, podemos decir que no es muy común, debido a que se basa únicamente en las características superficiales del agregado (porosidad, rugosidad, superficie total del agregado, etc.) para obtener el contenido óptimo de cemento asfáltico.

Para la elaboración de mezclas asfálticas en caliente, los métodos más usuales son el de Marshall y el de Hveem, los

cuales nos reportan el comportamiento que tendrá la carpeta, en base a pruebas de estabilidad y de flujo, ejecutadas en especímenes de prueba y utilizando diferentes contenidos de cemento asfáltico, para después obtener el porcentaje óptimo de cemento asfáltico.

Aunque los dos métodos nos proporcionan resultados representativos del comportamiento de la carpeta, el método más empleado es el método Marshall, ya que es menos laborioso, por lo que es el más utilizado en la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas.

Como ya es sabido, las mezclas asfálticas elaboradas en planta estacionaria, calentando los agregados y el cemento asfáltico, son las que proporcionan carpetas de mejor calidad, debido a que se exige un buen control en las características del agregado y del asfalto.

El empleo de las mezclas asfálticas en caliente se ve restringido en que para su elaboración se requiere de empleo de maquinaria muy costosa, lo cual redundaría en el costo de la carpeta, de allí que en determinados casos es conveniente el empleo de mezclas asfálticas en el lugar, que aunque no se obtiene una carpeta de igual calidad, los resultados serán satisfactorios.

En el capítulo V, podemos observar la diferencia de costo que existe entre una mezcla elaborada en el lugar y otra - -



utilizando una planta estacionaria, sin embargo se debe tener en consideración que una carpeta elaborada en planta estacionaria, que aunque la inversión inicial es mayor, su vida útil será mas larga y requerirá menor conservación y cuidado, a diferencia de una mezcla elaborada en el lugar, la cual dura menor tiempo y requiere mayor mantenimiento, lo cual repercute en su costo.

A toda carpeta construída por cualquiera de los procedimientos anteriormente mencionados, se le deberá aplicar un riego de sello, una vez terminada la carpeta, con el propósito de hacerla mas impermeable y así prolongar su vida útil.

Es recomendable el uso de mezclas asfálticas en caliente cuando el tránsito es superior a 2,000 vehículos/día. En el caso de que el tránsito sea inferior, se podrá emplear el procedimiento de mezcla en el lugar o de riegos múltiples.

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

- |   |   |
|---|---|
| EL ASFALTO  | Ralph N. Traxler                              |
| PAVIMENTOS ASFALTICOS   | Martin y Wallace                              |
| MANUAL DEL ASFALTO  | Instituto del Asfalto                         |
| ESPECIFICACIONES GENERALES DE<br>CONSTRUCCION PARTES VIII Y IX                                | S.O.P.  |
| INGENIERIA DE CARRETERAS Y<br>AEROPUERTOS.  | Adrian R. Legault                             |
| INGENIERIA DE CARRETERAS  | Collins - Hart                                |
| DISEÑO Y CONSTRUCCION DE<br>PAVIMENTOS.   | U.N.A.M.<br>Centro de Educación -<br>Continua |
| TESIS: PROCEDIMIENTO PARA LA<br>ELABORACION, MEZCLADO, TENDIDO<br>Y COMPACTADO DE PAVIMENTOS. | Rafael Rodriguez C.                           |