

692.3N
SCT.n v.2
1991 T-14



SECRETARIA
DE COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES

NORMAS PARA MUESTREO Y PRUEBAS DE LOS MATERIALES EQUIPOS Y SISTEMAS

**PARTE 6.01
CARRETERAS
Y AEROPISTAS
TITULO 6.01.03
PAVIMENTOS (II)
TOMO 2**

1991

LIBRO 6



05690

No.de Adq.
SCT/DGST/CDT

066



LIB00073

**SECRETARIA DE COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES**

**LIBRO 6
NORMAS PARA MUESTREO Y PRUEBAS
DE LOS MATERIALES, EQUIPOS Y
SISTEMAS**

**PARTE 6.01
CARRETERAS Y AEROPISTAS**

**TITULO 6.01.03
PAVIMENTOS (II)**

TOMO 2

1991

CONTENIDO

LIBRO 6 NORMAS PARA MUESTREO Y PRUEBAS DE LOS MATERIALES, EQUIPOS Y SISTEMAS

PARTE 6.01 CARRETERAS Y AEROPISTAS

TITULO 6.01.03 PAVIMENTOS (II)

TOMO 2

INDICE

	Pág.
Capítulo 6.01.03.012. Mezclas Asfálticas	1
Indice General	I

CAPITULO 6.01.03.012

MEZCLAS ASFALTICAS

012-A CONTENIDO

012-A.01 En este Capítulo se trata lo referente al muestreo, preparación de las muestras y descripción de las pruebas de laboratorio que es necesario efectuar a las mezclas asfálticas utilizadas en la construcción de estructuras, tales como carpetas, bases asfálticas, bordillos y morteros asfálticos, para conocer su calidad, prever su probable comportamiento en la obra, controlar sus características durante la construcción y evaluar las condiciones de las capas construídas con dichas mezclas. Los requisitos de calidad de las mezclas citadas se establecen en el Capítulo (011) del Libro 4 de estas Normas.

012-B MUESTREO

012-B.01 El muestreo consiste en la obtención de una o varias porciones de las mezclas asfálticas, con las cuales se pretende construir una estructura o bien, de las mezclas que ya son parte integral de la misma, procediendo de tal manera que las características de la porción obtenida permita hacer evaluaciones del conjunto que representan. De acuerdo con la finalidad que tenga el estudio de las mezclas, las muestras deberán ser obtenidas oportunamente, ya que algunas de sus características cambian en tiempos relativamente cortos y por otra parte, los resultados de las pruebas pueden ser requeridos para orientar los procedimientos de construcción; en esta forma, la obtención de las muestras puede efectuarse en el sitio de elaboración, lugar de tendido, en la planta de fabricación, en los almacenamientos, en la capa ya

Recipientes de lámina con cierre hermético, con capacidad adecuada al tamaño de la muestra.

Palas.

Zapapicos.

Cucharones.

Charolas.

Cucharas de albañil.

Lona ahulada de uno punto cinco (1.5) metros por lado, aproximadamente.

Cinceles.

Martillos.

Espátulas.

012-B.03 El muestreo de las mezclas asfálticas se deberá efectuar una vez que se ha terminado el proceso de incorporación de los materiales y la homogeneización de la misma, procediendo de acuerdo con lo que se indica a continuación:

- a) En el caso de mezclas elaboradas en el lugar, ya sea que se encuentren tendidas sin compactar o bien acamellonadas, en términos generales se obtendrán muestras a cada doscientos (200) metros aproximadamente, para lo cual se seleccionará la sección de muestreo lo más representativa posible. En el primer caso se integrará cada muestra tomando material de cuando menos

se toman porciones en dos (2) o tres (3) puntos de la tolva de la extendidora, se mezclan inmediatamente en una charola y a continuación por cuarteo se obtiene de la mezcla la muestra correspondiente. En ambos casos el peso de la muestra será el suficiente para efectuar las pruebas requeridas o bien, estará de acuerdo con lo indicado en el cuadro del párrafo a) de este inciso.

- c) Cuando el muestreo se haga en la mezcla almacenada, los lugares de obtención de las muestras se distribuirán de tal manera que permitan registrar las diferentes condiciones que presente la mezcla almacenada y según se requiera, pueden ubicarse en su parte superficial, en la interior, en la parte inferior o en la superior; también puede tomarse en cuenta para distribuir el muestreo, el tiempo de almacenamiento, considerando por otra parte, el volumen existente o por utilizar; cada muestra se analizará por separado, no siendo recomendable formar muestras integrales. El número de muestras es variable, dependiendo del tipo de estudios por realizar, pero en general no se tomarán menos de dos (2) muestras, para lo cual, utilizando un cucharón o una pala se obtiene del lugar seleccionado una porción representativa y se deposita en una charola de la cual por cuarteo se obtiene la muestra correspondiente, cuyo peso será el suficiente para efectuar las pruebas requeridas o bien, estará de acuerdo con lo indicado en el cuadro del párrafo a) de este inciso.
- d) Cuando se trate de capas asfálticas o estructuras tendidas y compactadas, se obtendrá una mues-

vente y agua, se envasarán en recipientes provistos de tapa hermética. Cada muestra se identificará mediante una tarjeta que contiene los datos indicados a continuación:

Número de la muestra.

Fecha de muestreo.

Obra y ubicación.

Material muestreado y uso.

Hora en que se efectúa el muestreo.

Sitio en donde se obtuvo la muestra.

Procedimiento de mezclado.

Observaciones.

Persona que efectuó el muestreo.

012-C PROPORCIONAMIENTO PRELIMINAR, ELABORACION Y/O PREPARACION DE LAS MEZCLAS DE PRUEBAS.

012-C.01 Para diseñar las mezclas asfálticas se deberá establecer en forma preliminar la dosificación, tanto de los materiales pétreos como de éstos con los materiales asfálticos y preparar una mezcla inicial, sea solamente de material pétreo o bien ya integrada ésta con el asfalto, a fin de someterla a las pruebas relativas al criterio de diseño que se utilice; se verificará si dicha mezcla cumple con los requisitos establecidos y, de no ser así, se

012-C.02 Para estimar las proporciones en que deben mezclarse dos (2) o más materiales diferentes a fin de obtener una mezcla que satisfaga las condiciones previamente establecidas, se partirá de las características granulométricas de cada material y se aplicarán para combinarlos, criterios como los de aproximaciones sucesivas, métodos numéricos y métodos gráficos, de los cuales en este inciso se describen algunos de ellos:

- a) El procedimiento de aproximaciones sucesivas, que básicamente consiste en elegir, de acuerdo con las características de los materiales y con cierto criterio, una proporción para su mezclado y aplicando dicha proporción preparar la mezcla correspondiente, a la cual se le determinan las características que para el objeto sean de interés. Al no lograrse con esta mezcla inicial lo deseado, se elaboran en forma sucesiva nuevas mezclas, fijando otras proporciones para cada una de ellas, orientándose para ello con los resultados que se vayan obteniendo, hasta lograr una mezcla cuyas características se estime que satisfacen lo requerido.
- b) De los métodos numéricos se describe el de ecuaciones lineales simultáneas, en el cual se establece un número de requisitos igual al número de materiales que es necesario mezclar, consistiendo el primer requisito en que la suma de las proporciones de los materiales que forman la mezcla, es la unidad; los otros requisitos se establecen en función de la composición granulométrica requerida en la mezcla, fijándose con base en ésta, los porcentajes de las fracciones de materiales que pasen por una o varias mallas cuya influencia sea importante en dicha mezcla.

Para determinar las proporciones en que intervienen los materiales, se forma un sistema de tres (3) ecuaciones lineales como sigue:

$$X_A + X_B + X_C = 1.00$$

$$0.92X_A + 0.60X_B + 0.10X_C = 0.40$$

$$0.53X_A + 0.10X_B + 0.05X_C = 0.20$$

En donde:

X_A , X_B y X_C , son las proporciones por determinar y en que cada uno de los materiales pétreos A, B y C intervienen en la mezcla.

0.92, 0.60 y 0.10, son los respectivos porcentajes en peso, expresados en forma decimal de cada uno de los materiales pétreos A, B y C, que pasan la malla Núm. 4.75.

0.40 es el por ciento en peso, expresado en forma decimal, de la mezcla de materiales que debe pasar por la malla Núm. 4.75.

0.53, 0.10 y 0.05, son los respectivos porcentajes en peso, expresados en forma decimal, de cada uno de los materiales A, B y C, que pasan la malla Núm. 0.60.

0.20 es el por ciento en peso, expresado en forma decimal, de la mezcla de materiales que debe pasar por la malla Núm. 0.60.

Resolviendo el sistema de ecuaciones planteado se tiene el siguiente resultado:

$$X_A = 0.31, X_B = 0.10, X_C = 0.60$$

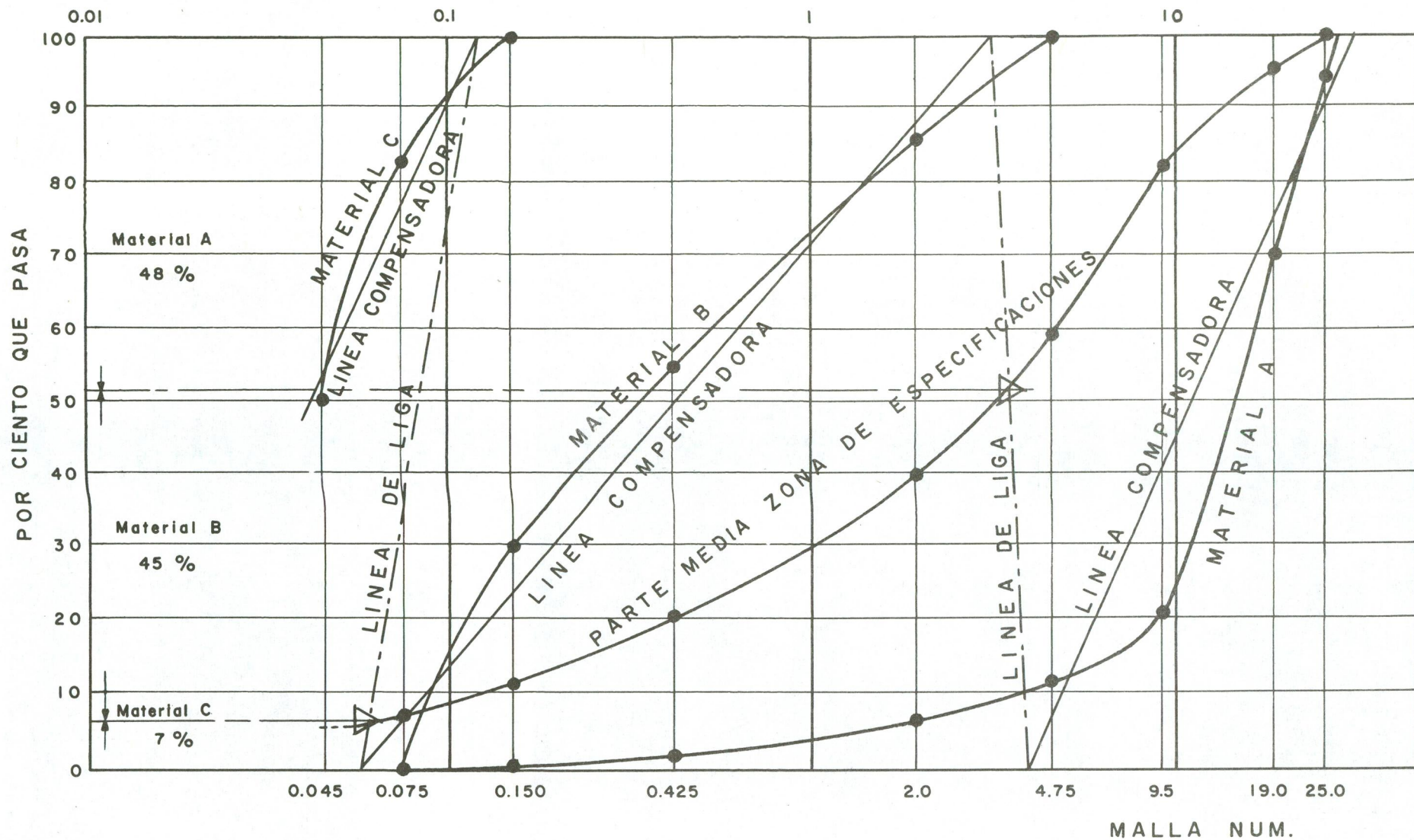


FIGURA NUM. 68 DETERMINACION GRAFICA DE LAS PROPORCIONES DE UNA MEZCLA DE MATERIALES.

Se tienen tres (3) materiales con la composición granulométrica respectiva que se indica a continuación:

Material A		Material B		Material C	
Malla Núm.	Por ciento que pasa	Malla Núm.	Por ciento que pasa	Malla Núm.	Por ciento que pasa
25.000	95	4.750	100	0.150	100
19.000	70	2.000	85	0.075	82
9.500	21	0.425	55	0.045	50
4.750	11	0.150	30		
2.000	7	0.075	0		
0.425	2				
0.150	1				
0.075	0				

Se requiere determinar las proporciones en que deben combinarse dichos materiales para que la mezcla resultante cumpla con los siguientes requisitos de granulometría:

Malla Núm.	Límites especificados, por ciento que pasa	Parte media de la zona de especificaciones, por ciento que pasa.
25.000	100	100
19.000	90-100	95
9.500	65-100	82
4.750	48-70	59
2.000	33-48	40
0.425	17-25	21
0.150	9-16	12
0.075	6-10	8

Resultados según la gráfica de la Figura Núm. 68: Material A 48%, Material B 45% y Material C 7%.

012-C.03 La cantidad de asfalto que es necesario agregar para aglutinar el material pétreo se establecerá en función de alguna o algunas de las características físicas del agregado como son: granulometría, porosidad, forma y superficie específica de las partículas; así también, del tipo de mezcla que se pretenda elaborar de acuerdo con el proyecto y con las condiciones de uso a que se destine la mezcla, según lo indicado en el inciso (4.01.03.011-D.02) del Libro 4 de estas Normas. Varios de estos conceptos se tomarán en cuenta mediante fórmulas empíricas cuya aplicación permita obtener en forma aproximada el por ciento de material asfáltico que se adicionará para preparar la mezcla preliminar, de tal manera que cubra las partículas de material pétreo, sin dejarles una capa demasiado gruesa, porque se afectaría la estabilidad de la mezcla, ni demasiado delgada porque se desintegraría prematuramente o no se aglutinarían los materiales. Para tomar en cuenta estas condiciones se establecen dos (2) conceptos básicos en la cuantificación preliminar del contenido de asfalto: el mínimo requerido para cubrir las partículas del agregado pétreo y el óptimo, que permite las mejores posibilidades para el uso de la mezcla, estableciéndose a continuación una fórmula para cada uno de estos criterios:

- a) Para determinar el contenido mínimo aproximado de asfalto, una vez que se ha definido la granulometría del material pétreo para la mezcla preliminar; se aplicará la siguiente fórmula:

$$P_{RA} = \Sigma F K I$$

En donde:

P_{RA} es la proporción de residuo asfáltico en peso, que corresponde a la mezcla preliminar y

que es equivalente a la suma del requerido por cada fracción del agregado en las que se considera dividido éste para su estudio, en por ciento.

- F es la proporción, expresada en por ciento, en peso, de cada una de las fracciones en que se divide el material pétreo para su estudio, determinada de acuerdo con las mallas que se indican en la Tabla XIV.
- K es la constante de área superficial de las partículas de material pétreo estimada para cada una de las fracciones, de acuerdo con lo indicado en la Tabla XIV, en metros cuadrados por kilogramo.
- I es el índice asfáltico de la fracción considerada, el cual se selecciona de la Tabla XV, de acuerdo con las características del material, en kilogramos de cemento asfáltico por metro cuadrado de área superficial de partículas.

TABLA XIV AREAS SUPERFICIALES DE PARTICULAS PARA DIFERENTES FRACCIONES DEL MATERIAL PETREO.

MATERIAL		Area superficial de partículas, K, en m ² /kg.
Pasa malla Núm.	Retiene en malla Núm.	
37.500	19.000	0.27
19.000	4.750	0.41
4.750	0.425	2.05
0.425	0.075	15.38
0.075	-	53.30

TABLA XV INDICES ASFALTICOS PARA DIVERSOS TIPOS DE MATERIAL PETREO.

Materiales pétreos de partículas	Indices asfálticos en kg/m ²		
	Absorción 0.0 a 2.5%	Absorción 2.6 a 5.0%	Absorción Mayor de 5.0%
Redondeadas	0.0055	0.0065	0.0075
Sub-angulosas	0.0065	0.0075	0.0085
Angulosas	0.0075	0.0085	0.0100

- a1) Para calcular la cantidad mínima de producto asfáltico con respecto al material pétreo en volumen se aplicará la siguiente fórmula:

$$MA_v = \frac{P_{RA} \gamma_d}{R S_{RA} \gamma_o}$$

En donde:

MA_v es la cantidad mínima de producto asfáltico con relación al material pétreo suelto, en litros por metro cúbico.

P_{RA} es la proporción mínima de residuo asfáltico en peso con relación al del material pétreo, en por ciento.

γ_d es el peso volumétrico del material pétreo seco suelto, en kilogramos por metro cúbico.

R es el residuo que contiene el material asfáltico, en por ciento, respecto a su volumen.

S_{RA} es el peso específico relativo o densidad del residuo asfáltico, número abstracto.

γ_o es el peso específico del agua, considerado para estos fines de un kilogramo por litro.

a2) Cuando la mezcla se haga con cemento asfáltico, para fines prácticos se incrementa el contenido antes mencionado en un veinticinco por ciento (25%).

b) Para determinar la cantidad óptima de asfalto que se requiere en una mezcla, se deberán tomar en cuenta diversos factores:

En primer lugar se considera la función que básicamente desarrollará la mezcla asfáltica, las condiciones del clima, y la severidad del trabajo a que estará sujeta; en seguida se toman en consideración las características de los materiales como son la granulometría, absorción y densidad del pétreo, así como la densidad y consistencia del asfalto. Finalmente se toman en cuenta otros factores relacionados con la estructura por construir referente a la flexibilidad de las capas subyacentes y al espesor de la capa asfáltica, que deben ser congruentes con las propiedades de la mezcla por elaborar. Con todos estos datos se tendrá la orientación suficiente respecto a las características de rigidez o flexibilidad, estabilidad, impermeabilidad y otras condiciones de seguridad que se requieren y que definen la proporción de asfalto en la mezcla para un material pétreo determinado. Para conocer en forma aproximada la cantidad óptima de

cemento o residuo asfáltico que se requiere agregar al material pétreo para preparar una mezcla, se aplicará la siguiente fórmula:

$$A_{OP} = \sqrt[5]{\frac{0.17G + 0.33G_F + 2.30S + 12S_F + 135f}{100}} \frac{2.65}{S_p} M K$$

En donde:

A_{OP} es la proporción óptima aproximada de cemento o residuo asfáltico de la mezcla, expresada como por ciento en peso del material pétreo.

G es la proporción en peso que del material pétreo representa la fracción retenida en la malla Núm. 9.5, en por ciento.

G_F es la proporción en peso que del material pétreo representa la fracción retenida en la malla Núm. 4.75 y que pasa la malla Núm. 9.5, en por ciento.

S es la proporción en peso que del material pétreo representa la fracción retenida en la malla Núm. 0.250 y que pasa la malla Núm. 4.75, en por ciento.

S_F es la proporción en peso que del material pétreo representa la fracción retenida en la malla Núm. 0.075 y que pasa la malla Núm. 0.250, en por ciento.

f es la proporción en peso que del material pétreo representa el fino o "filler" y que pasa la malla Núm. 0.075, en por ciento.

2.65 es el valor del peso específico relativo o densidad del agregado pétreo, considerado como constante para la aplicación de esta fórmula.

S_p es la densidad del agregado pétreo determinada por inmersión en cemento asfáltico, como se describe en el inciso (6.01.03.010-F.02) de este Libro 6.

M es el módulo de riqueza de asfalto correspondiente a mezclas utilizadas en capas de pavimentación, el cual se selecciona en el siguiente cuadro, en función de algunas características del agregado pétreo:

PARTICULAS DEL AGREGADO PETREO	MODULOS DE RIQUEZA		
	ABSORCION		
	Hasta 2.5%	2.6 a 5.0%	Mayor de 5.0%
ANGULOSAS	1.96	2.35	3.10
SUB-ANGULOSAS	1.64	2.10	2.80
REDONDEADAS	1.33	1.85	2.50

K es el factor para ajustar los resultados de acuerdo con el tipo de mezcla asfáltica de que se trate y se puede considerar en forma aproximada de uno punto cero (1.0) cuando se emplea cemento asfáltico, de cero punto ochenta y cinco (0.85) para emulsiones y de cero punto setenta (0.70) cuando se utilizan asfaltos rebajados.

- b1) Para calcular la cantidad óptima aproximada de producto asfáltico, en volumen, de una mezcla preliminar, se aplicará la siguiente fórmula:

$$A_{OV} = \frac{A_{OP} \gamma_d}{S_A \gamma_o R}$$

En donde:

A_{OV} es la cantidad óptima aproximada de producto asfáltico con relación al material pétreo, para una mezcla preliminar, en litros por metro cúbico.

A_{OP} es la proporción óptima aproximada de cemento o residuo asfáltico que corresponde a la mezcla preliminar, expresada como por ciento en peso con relación al del material pétreo.

γ_d es el peso volumétrico del material pétreo seco, en kilogramos por metro cúbico.

S_A es el peso específico relativo o densidad del cemento asfáltico, o bien del residuo asfáltico que en este caso se le considera con valor de uno (1).

γ_o es el peso específico del agua, estimado para estos fines, de un kilogramo por litro.

R es la proporción de residuo asfáltico que contiene el producto asfáltico respecto a su volumen, en por ciento.

012-C.04 La preparación de las muestras de mezcla asfáltica en términos generales consistirá en elaborarlas o darles el tratamiento adecuado para asegurar en las mismas, características similares a las que tenga o vaya a tener en la obra la mezcla elaborada y a la vez, lograr la uniformidad necesaria de las porciones que forman el grupo de cada muestra, para poder diferenciar y evaluar los resultados de las alternativas o variantes del estudio.

- a) El equipo y materiales que en general se requieren para la preparación de las muestras de mezcla asfáltica son los siguientes:

Balanza con capacidad de veinte (20) kilogramos y un (1) gramo de aproximación, con platillo plano.

Balanza con capacidad mínima de dos (2) kilogramos y con aproximación de cero punto un (0.1) gramo.

Mallas Núms. 25.0, 19.0, 12.5, 9.5, 6.3, 4.75, 2.00, 0.850, 0.425, 0.250, 0.150 y 0.075.

Parrilla eléctrica o placa de calentamiento para materiales, con dimensiones mínimas de treinta (30) centímetros por lado, provista de control termostático.

Termómetro de inmersión total con escala de treinta a doscientos grados centígrados (30 a 200°C) y aproximación de cero punto cinco grados centígrados (0.5°C).

Termómetro de inmersión parcial con escala de treinta a doscientos grados centígrados (30 a

200°C) y aproximación de cero punto cinco grados centígrados (0.5°C).

Cuchara de albañil chica.

Charolas rectangulares de lámina galvanizada.

Cucharón de lámina galvanizada.

Vasos de aluminio con capacidad de un (1) litro.

Vasos de aluminio con capacidad de quinientos (500) centímetros cúbicos.

Aditivos para mejorar la adherencia entre los materiales pétreos y los materiales asfálticos, cuando se requieran.

Mezcladora mecánica para materiales pétreos con tazón de mezclado de dos (2) litros de capacidad como mínimo, de temperatura regulable y velocidades de mezclado de sesenta (60) y ciento veinte (120) revoluciones por minuto. Figura Núm. 15 del Capítulo (6.01.03.009) de este Libro 6.

b) Para la preparación de las muestras de mezcla asfáltica se considerarán dos (2) casos: el que se aplica cuando se hacen estudios para el diseño de las mezclas y el correspondiente a la verificación de la calidad en las mezclas elaboradas.

b1) Cuando se trate de elaborar muestras que se utilizan para el diseño de las mezclas asfálticas, con los materiales pétreos obtenidos y preparados como se indica en las Cláusulas

(010-B y 010-C), respectivamente y con los materiales asfálticos obtenidos como se indica en la Cláusula (011-B), se procede en la forma siguiente: se separa el material pétreo por tamaños, cribándolo por las mallas Núms. 25.0, 19.0, 12.5, 9.5, 6.3, 4.75, 2.00, 0.850, 0.425, 0.250, 0.150 y 0.075, y se toma de cada una de estas fracciones la cantidad requerida de acuerdo con la granulometría fijada como inicial, según lo descrito en los incisos (012-C.01) y (012-C.02) de este Capítulo, para formar una muestra cuyo peso total sea el requerido de acuerdo con las pruebas que se vayan a efectuar y, una vez integrada dicha muestra, se coloca en una charola y se procede a calentarla a la temperatura de mezclado que fije el procedimiento de prueba; cuando se utilicen emulsiones, no se calentará y en cambio se le incorporará una cantidad de agua que para cada material pétreo dependerá del porcentaje de emulsión utilizada y será la adecuada para lograr una buena incorporación y cubrimiento del material pétreo con la emulsión. Por lo que se refiere al asfalto, después de homogeneizado, se calienta a la temperatura de mezclado y de ser necesario se le agrega el aditivo para mejorar su adhesividad con el material pétreo, según quedó establecido en la cláusula (010-L) de este Libro 6, manteniéndolo para ello a su temperatura de mezclado; con el mismo fin, se pueden incorporar aditivos directamente al material pétreo. En seguida se agrega el asfalto al material pétreo, ambos debidamente preparados, evitando que el primero

caiga directamente sobre la charola en que se efectúa la dosificación; esta operación se realiza colocando la charola citada sobre la balanza de solución, lo que permite precisar adecuadamente el peso del asfalto que se vaya a incorporar. Inmediatamente después, **se mezclan los materiales en el mezclador** mecánico o bien en forma manual, utilizando para ello una cuchara de albañil chica; durante el mezclado se deberá mantener la temperatura adecuada para esta operación, utilizando la fuente de calor del mezclador mecánico o bien la parrilla de temperatura controlable, excepto cuando se utilicen emulsiones en cuyo caso no se requerirá calentar los materiales, prolongando el proceso en estas condiciones hasta que se observe la mezcla uniforme. Durante la operación de mezclado se evitarán recalentamientos o sobrecalentamientos. En las condiciones anteriormente citadas y a la mayor brevedad, la mezcla preparada se utilizará para elaborar los especímenes requeridos o para darle el curado o tratamiento que señale el procedimiento de prueba correspondiente.

- b2) Para la preparación de las muestras de mezcla ya elaborada, cada procedimiento de prueba indica el tratamiento previo a que deban someterse; sin embargo, en la mayoría de los casos la preparación de la muestra consiste en homogeneizar la porción obtenida y por cuarteos, tomar la cantidad necesaria para efectuar las pruebas requeridas, excepto cuando se trata de probetas de mezcla

compactada en cuyo caso no debe modificarse su estructura. Al homogeneizar las mezclas, en algunos casos, se podrán calentar éstas lo indispensable para efectuar dicha operación, pero no se recalentarán cuando se vayan a moldear especímenes o se tenga que determinar su contenido de disolventes y agua.

012-D METODOS PARA DISEÑO Y VERIFICACION DE MEZCLAS ASFALTICAS.

012-D.01 El diseño de las mezclas asfálticas tendrá por objeto establecer las proporciones de los materiales que en la elaboración de las mismas intervienen, a fin de lograr en ellas ciertas propiedades que propicien condiciones de uso y duración suficientes para alcanzar el objetivo que se persigue; dichas propiedades, en términos generales, tenderán a lograr que la mezcla cuente con la estabilidad necesaria para soportar las cargas impuestas por el tránsito, resistir el intemperismo y no presentar desgranamientos bajo el efecto de la circulación de vehículos. Además, la capa construída con la mezcla tendrá la flexibilidad adecuada para adaptarse, sin sufrir daño, a las deformaciones permisibles en las capas del pavimento; en ciertos casos, con dichas propiedades también se procurará lograr que la textura y rugosidad de la capa sean adecuadas para el tránsito seguro de vehículos, considerando siempre tener capas suficientemente impermeables. Como las propiedades mencionadas se logran seleccionando y adaptando el material pétreo, a la vez que incorporándole la proporción y tipo de material asfáltico adecuados, el diseño de una

mezcla asfáltica contemplará fundamentalmente el manejo de estos conceptos para encontrar la mejor y más económica combinación de los materiales seleccionados, considerando como proporción óptima de asfalto aquella con la que se logren las condiciones mencionadas. Para la determinación de la proporción óptima de asfalto de una mezcla, se efectuarán los pasos siguientes: selección y combinación de los materiales pétreos y del asfalto, así como la determinación de sus características físicas; elaboración, curado y prueba de especímenes de acuerdo con el procedimiento respectivo; finalmente cálculo y análisis de resultados, fijando la proporción óptima de asfalto, de acuerdo con el criterio de prueba y las restricciones de la obra. En esta Cláusula se tratan los procedimientos de Equivalente de Queroseno Centrifugado, Compresión sin Confinar, Extrusión utilizando el equipo Hubbard-Field, Método Marshall, procedimiento basado en la prueba de Hveen y el Método de Abrasión en Húmedo para morteros asfálticos; con estos procedimientos se obtendrán los resultados que permitan fijar un criterio en cuanto a dosificación para elaborar la mezcla en la obra. Sin embargo, dependiendo de la importancia de los trabajos y de lo estricto de sus condiciones, los valores encontrados serán verificados y ajustados con la frecuencia necesaria, para tomar en cuenta las variaciones de los materiales y de los procedimientos de construcción.

012-D.02 En este inciso se describe la prueba de equivalente de queroseno centrifugado, para la determinación de la proporción óptima aproximada de material asfáltico en una mezcla, y se lleva a cabo a partir del área superficial de las fracciones gruesa y fina del material pétreo o combinación de materiales seleccionados para la mezcla; así también, a partir de la obtención de un factor K que depende de la rugosidad y grado de porosi-

dad de las partículas de material pétreo, evaluados mediante procedimientos de retención de queroseno y de aceite. Dichos parámetros se correlacionan gráficamente para obtener la proporción óptima de un asfalto rebajado con viscosidad especificada, pudiendo después ajustarse el resultado para otros materiales asfálticos.

- a) El equipo y materiales necesarios para efectuar esta prueba son los siguientes:

Aparato para centrifugado, de operación manual o accionado por motor eléctrico, con capacidad para ejercer sobre la muestra una fuerza de cuatrocientas (400) veces la de gravedad, provisto de dos (2) vasos para centrifugado, teniendo este aparato las características básicas que se indican en la Figura Núm. 69.

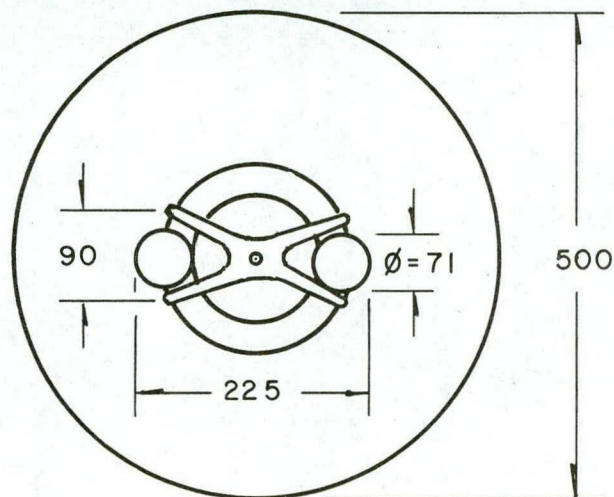
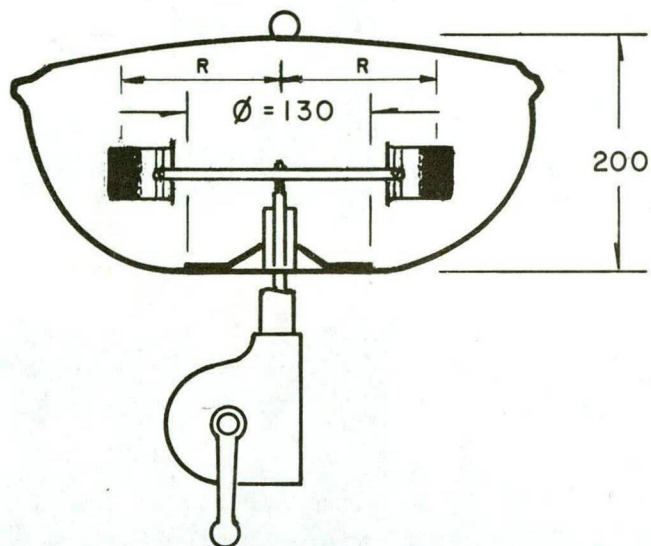
Mallas de las siguientes denominaciones: 19.0, 9.5, 4.75, 2.36, 1.18, 0.600, 0.300, 0.150 y 0.075.

Charolas redondas con diámetro de quince (15) centímetros y altura de tres (3) centímetros.

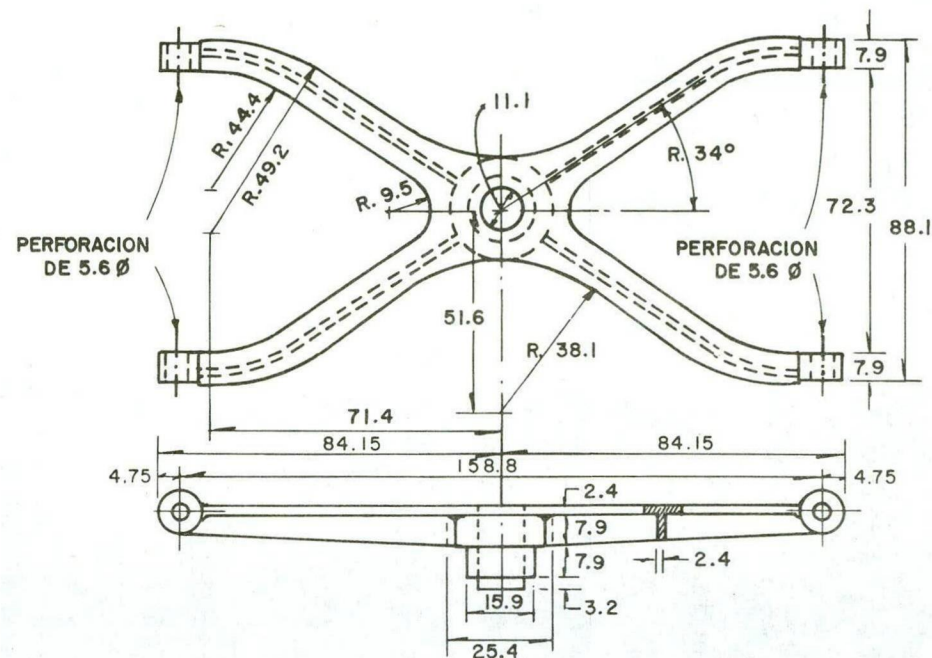
Balanza con capacidad de quinientos (500) gramos y aproximación de cero punto un (0.1) gramo.

Parrilla con placa para calentamiento de materiales, con capacidad para obtener temperaturas de ciento cinco grados centígrados (105°C).

Horno con termostato que mantenga temperaturas entre cincuenta y ciento diez grados centígrados (50 y 110°C), con aproximación de un grado centígrado (1°C).

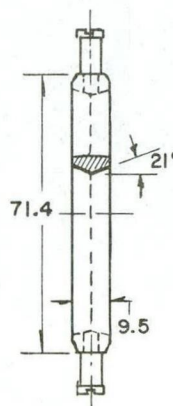
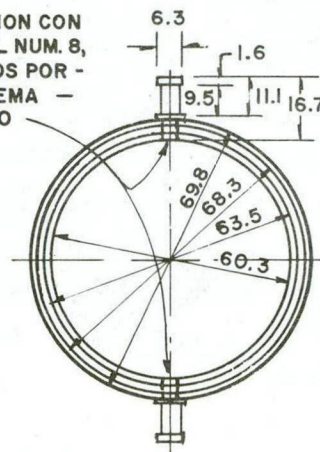


ESQUEMA DEL CENTRIFUGADOR



CRUCETA PARA SOPORTE DE LOS FRASCOS

PERFORACION CON
ROSCA DEL NUM. 8,
CON 3 HILOS POR -
25.4 SISTEMA -
AMERICANO



DIMENSIONES EN MILIMETROS

TODAS LAS DIMENSIONES CON TOLERANCIA DE ± 0.1 mm EXCEPTO EN LAS QUE SE INDICA OTRA APROXIMACION.

MATERIAL DE CRUCETA Y ANILLO:
FUNDICION DE BRONCE DURO.

EL PORTAFRASCOS DEBE ESTAR BALANCEADO.

ANILLO PORTAFRASCOS

FIGURA NUM. 69 APARATO DE CENTRIFUGADO PARA LA PRUEBA DE EQUIVALENTE DE QUEROSENO.

Vasos de precipitado de mil quinientos (1,500) centímetros cúbicos de capacidad.

Embudos metálicos de diez (10) centímetros de diámetro superior, diez (10) centímetros de altura y salida de un (1) centímetro de diámetro, protegida con malla Núm. 2.0.

Cinco (5) litros de queroseno (petróleo para lámpara).

Cinco (5) litros de aceite lubricante de grado SAE Núm. 10.

Papel filtro de cinco punto cinco (5.5) centímetros de diámetro, con velocidad de filtrado lento, similar al Eaton Dikeman Núm. 611.

b) El procedimiento de prueba es el siguiente:

b1) A una muestra de material pétreo preparada como se describe en el inciso (012-C.04), se le determina su composición granulométrica utilizando las mallas Núms. 19.0, 9.5, 4.75, 2.36, 1.18, 0.600, 0.300, 0.150, y 0.075, y a continuación se le separan dos (2) fracciones de mil quinientos (1,500) gramos cada una; la que pasa por la malla Núm. 9.5 y retiene la 4.75 y la que pasa la malla últimamente mencionada, denominadas fracción gruesa y fracción fina respectivamente, las cuales se secan en el horno a una temperatura de ciento cinco más menos cinco grados centígrados ($105 \pm 5^{\circ}\text{C}$), hasta peso constante. De cada una de estas fracciones se toman mil (1,000) gramos para determinar el correspondiente peso específico relativo

aparente, de acuerdo con los procedimientos descritos en los incisos (6.01.01.002-G.02 y 6.01.01.002-G.03). La parte restante de la fracción fina se utilizará en la determinación del retenido de queroseno y la de la fracción gruesa en la del retenido de aceite, como se describe en los subpárrafos siguientes:

- b2) A cada uno de los dos vasos de centrifugado se le instala su malla y papel filtro, después de lo cual se taran y se anota su peso con aproximación de cero punto un (0.1) gramo; se pesan en cada uno de ellos cien (100) gramos de la fracción seca de material que pasa la malla Núm. 4.75 y en estas condiciones se colocan en un recipiente que contenga queroseno con un tirante suficiente para cubrir las muestras, permaneciendo en él durante treinta (30) minutos para lograr su saturación.
- b3) Transcurrido el período de saturación se instalan en el aparato de centrifugación los vasos conteniendo las muestras y se someten durante dos (2) minutos a una fuerza centrífuga equivalente a cuatrocientas (400) veces la fuerza de gravedad, la cual se determina mediante la siguiente fórmula:

$$\text{RPM}_c = \sqrt{\frac{35\,600\,000}{R}}$$

En donde:

RPM_c es el número de revoluciones por minuto a que deben girar los vasos de centrifugado.

35 600 000 representa la aceleración a la que debe someterse la muestra para producir la fuerza centrífuga de cuatrocientas (400) veces la fuerza de gravedad, en centímetros sobre segundo al cuadrado.

R es el radio de giro del centro de gravedad de la muestra, en centímetros.

b4) Terminado el centrifugado se pesa cada uno de los vasos conteniendo su muestra, con aproximación de cero punto un (0.1) gramo y se determina el porcentaje de queroseno retenido, respecto al peso inicial de los agregados secos, y de no haber discrepancia significativa se reporta el promedio de estos porcentajes como equivalente de queroseno centrifugado, EKC, de lo contrario, se repite este procedimiento.

b5) Se coloca a continuación una (1) muestra de cien (100) gramos de la fracción gruesa seca, en cada uno de los dos embudos metálicos y en estas condiciones se sumergen en sus respectivos vasos de precipitado conteniendo aceite lubricante tipo SAE Núm. 10, a un nivel suficiente para que se cubran las partículas del agregado, permaneciendo así durante cinco (5) minutos a la temperatura ambiente.

b6) Transcurrido dicho lapso se sacan de los vasos de precipitado los embudos conteniendo las muestras y se dejan escurrir durante dos (2) minutos dentro de otros dos

vasos, sujetándolos de manera que no se pierda material; a continuación, se colocan dentro del horno los vasos que contiene los embudos y las muestras, manteniendo éstos en posición sensiblemente vertical, para proseguir el escurrimiento durante quince (15) minutos adicionales, a una temperatura de sesenta grados centígrados (60°C).

b7) Se sacan del horno los vasos con las muestras, se vacía cada una de ellas en una charola previamente tarada, se dejan enfriar a la temperatura ambiente y se pesan con aproximación de cero punto un (0.1) gramo. En seguida se determina el porcentaje de aceite retenido respecto al peso inicial de los agregados secos y de no existir discrepancia significativa entre los dos (2) resultados se reporta el promedio como porcentaje de aceite retenido AR, de lo contrario se repite este procedimiento.

c) Los cálculos y reportes son los siguientes:

c1) Si el peso específico relativo aparente de la fracción fina es diferente de dos punto sesenta y cinco más menos cero punto cero cinco (2.65 ± 0.05) se corrige el valor promedio del equivalente de queroseno centrifugado EKC, determinado según los subpárrafos b1) a b4), párrafo b) de este inciso, mediante la siguiente fórmula:

$$EKC_c = \frac{EKC S_{df}}{2.65}$$

En donde:

EKC_c es el equivalente de queroseno centrifugado, corregido por el peso específico relativo aparente de la fracción fina.

EKC es el equivalente de queroseno centrifugado de la fracción fina determinado como se describe en los subpárrafos b1) a b4), párrafo b) de este inciso.

S_{df} es la densidad o peso específico relativo aparente de la fracción fina determinada como se indica en el subpárrafo b1) párrafo b) de este inciso.

2.65 es el peso específico relativo aparente considerado para la fracción fina.

c2) Se calcula el área superficial del material pétreo a partir de su composición granulométrica, por medio de la siguiente fórmula:

$$A = \Sigma (P F_a)$$

En donde:

A es el área superficial del material pétreo considerado, en metros cuadrados por kilogramo.

P es el porcentaje en peso de cada uno de los retenidos parciales del material pétreo, en sus respectivas mallas.

F_a es el área superficial que corresponde a cada fracción comprendida entre las mallas respectivas, como se indica a continuación:

MATERIAL		Area superficial de los retenidos parciales en m ² /kg
Pasa malla Núm.	Retiene malla Núm.	
19.000	9.500	0.20
9.500	4.750	0.41
4.750	2.360	0.82
2.360	1.180	1.64
1.180	0.600	3.28
0.600	0.300	6.15
0.300	0.150	12.30
0.150	0.075	24.58
0.075		53.30

c3) Se determina la constante de superficie K_f para la fracción fina, utilizando la gráfica de la Figura Núm. 70 a partir del equivalente de queroseno EKC corregido como se describe en el subpárrafo c1) de este párrafo y en función del área superficial del material pétreo determinada como se describe en el subpárrafo c2) de este párrafo, así como del porcentaje de material que pasa la malla Núm. 4.75.

c4) Si el peso específico relativo aparente de la fracción gruesa es diferente de dos punto sesenta y cinco más menos cero punto cero

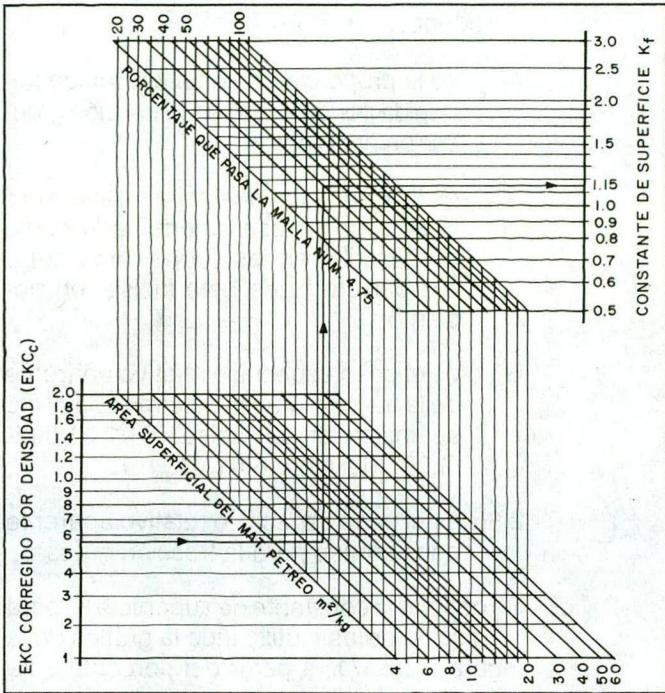


FIGURA NUM.- 70 GRAFICA PARA DETERMINAR LA CONSTANTE DE SUPERFICIE K_f, DE LA FRACCION FINA, EN LA PRUEBA DE EQUIVALENTE DE QUEROSENO.

cinco (2.65 ± 0.05) se corrige el valor promedio del porcentaje de aceite retenido AR que se determina según los subpárrafos b5) a b7) párrafo b) de este inciso, mediante la siguiente expresión:

$$AR_c = \frac{AR S_{dg}}{2.65}$$

En donde:

AR_c es la proporción de aceite retenido corregida por densidad de la fracción gruesa, en por ciento.

AR es la proporción de aceite retenido por la fracción gruesa determinado como se describe en los subpárrafos b5) a b7) párrafo b) de este inciso, en por ciento.

S_{dg} es el peso específico relativo aparente de la fracción gruesa determinado como se indica en el inciso (6.01.01.002-G.02), del Libro 6.01.01.

2.65 es el peso específico relativo aparente considerado para la fracción gruesa.

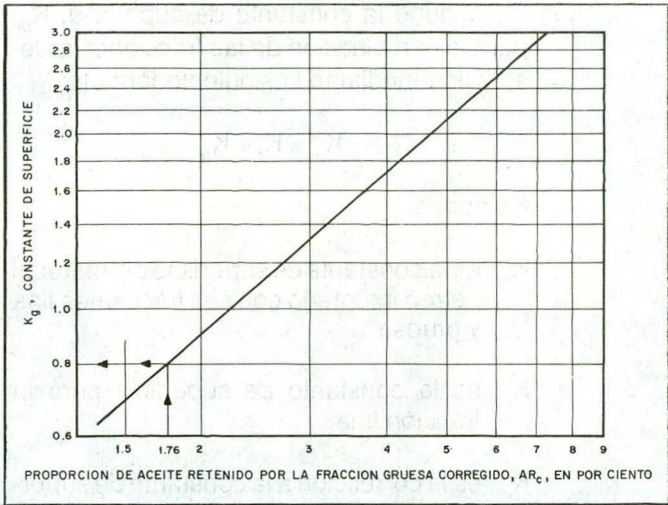
c5) Se obtiene la constante de superficie K_g para la fracción gruesa, utilizando la gráfica de la Figura Núm. 71, a partir del porcentaje de aceite retenido corregido.

c6) Se calcula el peso específico relativo aparente promedio del material pétreo, mediante la siguiente fórmula:

$$S_{dp} = \frac{100}{\frac{G}{S_{dg}} + \frac{F}{S_{df}}}$$

En donde:

S_{dp} es el peso específico relativo aparente promedio del material pétreo.



**FIGURA NUM.-71 GRAFICA PARA CALCULAR
LA CONSTANTE DE SUPERFICIE K_g
DE LA FRACCION GRUESA
EN LA PRUEBA DE EQUIVALENTE
DE QUEROSENO.**

G es la proporción en peso de la fracción gruesa con respecto al material pétreo, en por ciento.

S_{dg} es el peso específico relativo aparente de la fracción gruesa.

F es la proporción en peso de la fracción fina con respecto al material pétreo, en por ciento.

S_{df} es el peso específico relativo aparente de la fracción fina.

- c7) Se obtiene la constante de superficie, K_m , para la combinación de las fracciones gruesa y fina mediante la siguiente fórmula:

$$K_m = K_f + K_{ic}$$

En donde:

K_m es la constante de superficie del material pétreo integrado con sus fracciones fina y gruesa.

K_f es la constante de superficie para la fracción fina.

K_{ic} es la corrección a la constante de superficie de la fracción fina determinada utilizando la gráfica de la Figura Núm. 72.

El valor de K_{ic} se determina en función del área superficial del material, del porcentaje en peso de la fracción gruesa con respecto al material pétreo y de la diferencia $K_g - K_f$, siendo el signo de esta diferencia el mismo que se da a la corrección K_{ic} y cuando el valor de K_{ic} es inferior a 0.05 no se aplica ninguna corrección a K_f , siendo en este caso el valor de K_m igual al de K_f .

- c8) De la gráfica de la Figura Núm. 73 y a partir del área superficial del material pétreo calculada como se indica en el subpárrafo c2) de este párrafo y tomando en cuenta el peso específico relativo aparente promedio S_{dp} del material pétreo, obtenido como se indica en el subpárrafo c6) de este párrafo, así como

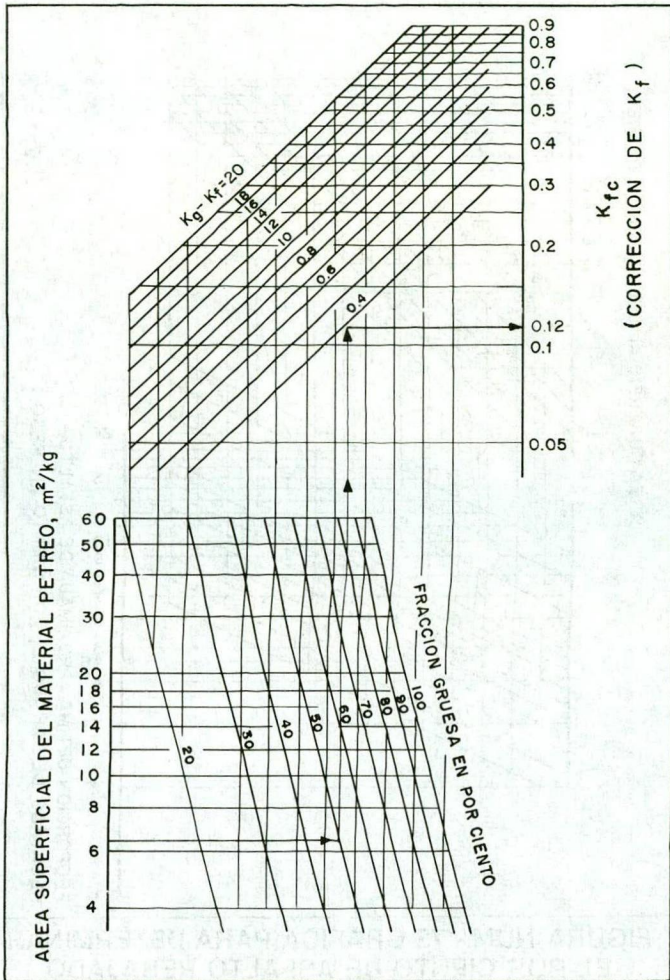


FIGURA NUM.-72 GRAFICA PARA DETERMINAR LA CORRECCION DE K_f PARA CALCULAR LA CONSTANTE DE SUPERFICIE K_m DEL MATERIAL PETRO.

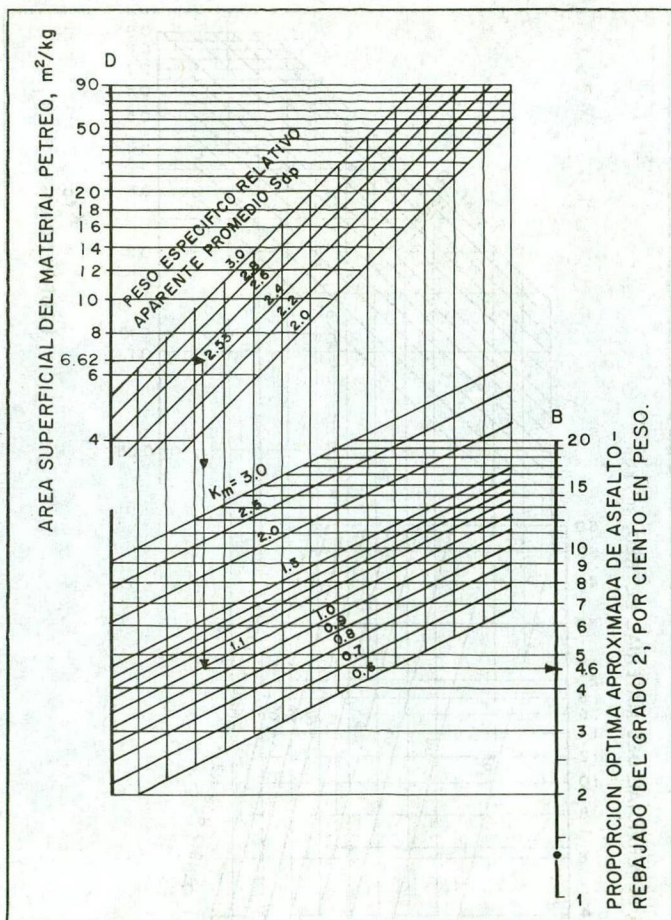


FIGURA NUM.- 73 GRÁFICA PARA DETERMINAR
EL POR CIENTO DE ASFALTO REBAJADO
FM2 O FR2.

en función de la constante de superficie K_m obtenida como se indica en el subpárrafo c7) de este párrafo, se obtiene el contenido

óptimo aproximado de asfalto rebajado de fraguado medio o rápido, del grado dos (2), en por ciento.

- c9) Cuando se trate de cemento asfáltico o algún otro rebajado diferente de los indicados en el subpárrafo c8) de este párrafo, se corrige la proporción óptima de asfalto mediante la gráfica de la Figura Núm. 74, como sigue: a partir del área superficial del material pétreo y del grado del rebajado o de la penetración del cemento asfáltico que se utilice, se determina un punto en la escala auxiliar C que unido con el punto de la escala D correspondiente al contenido óptimo de asfalto rebajado de grados dos (2), define en la escala E el contenido óptimo corregido para el material asfáltico seleccionado; esta proporción será la que se aplique para elaborar la mezcla asfáltica.
- c10) Cuando se requiere determinar la proporción óptima aproximada de material asfáltico para una mezcla que se elabore con emulsión y no obstante que de acuerdo con el uso de dicha mezcla su proporción óptima de asfalto sea relativamente variada, se podrá aplicar el procedimiento de equivalente de queroseno centrifugado como ha quedado descrito en este inciso, excepto que la determinación de la proporción óptima corregida de emulsión asfáltica, se efectúa a partir del porcentaje de rebajado asfáltico tipo dos (2), obtenido con el EKC y multiplicando este valor por uno punto uno (1.1). Este resultado se ajustará de acuerdo con las restricciones que imponga el uso de la mezcla.

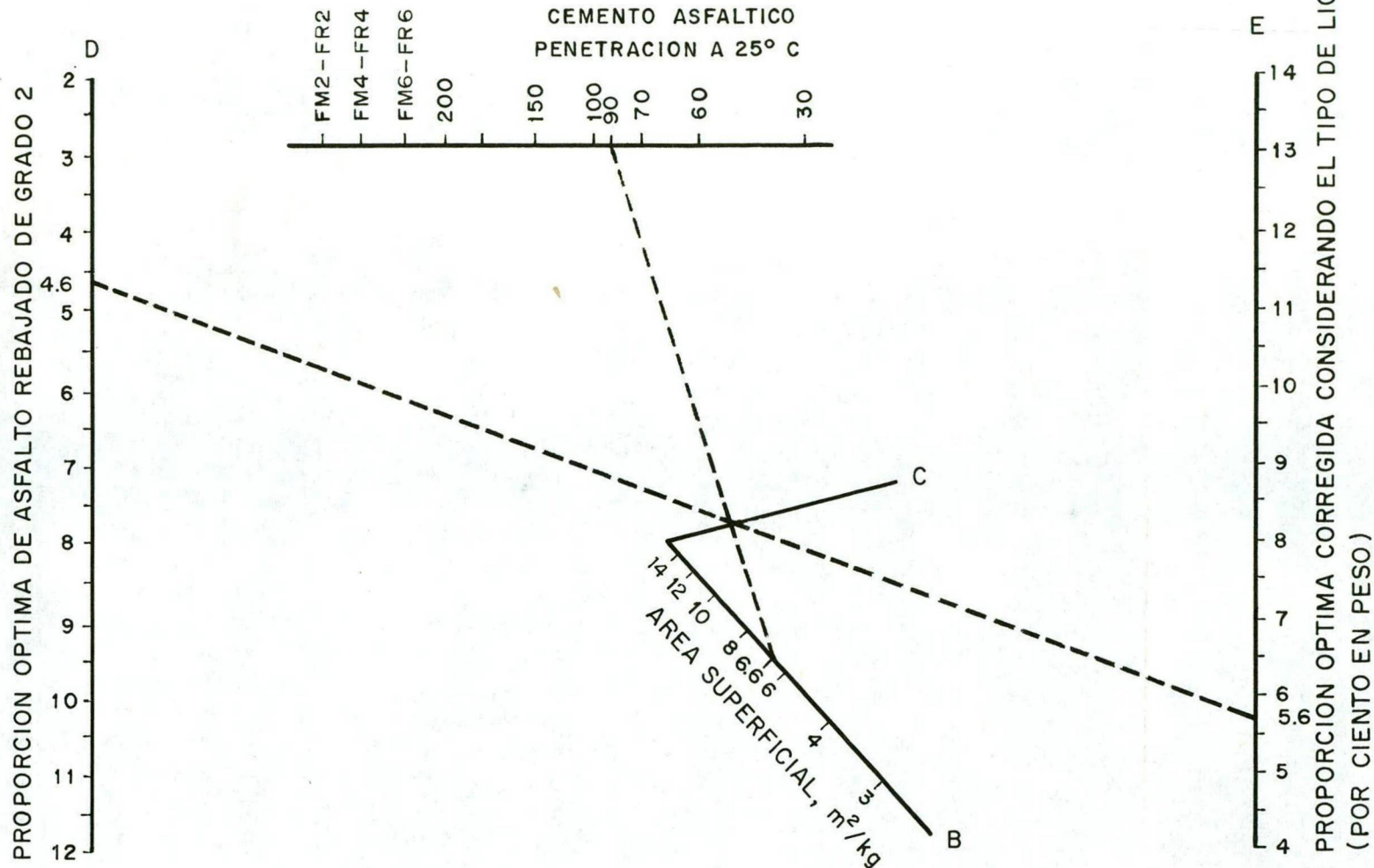


FIGURA NUM. 74 GRAFICA PARA CORREGIR LA PROPORCION OPTIMA DE ASFALTO -
CONSIDERANDO LA CONSISTENCIA DEL TIPO DE LIGANTE SELECCIONADO.

- c11) El empleo de las gráficas incluidas en este procedimiento se ilustran con el siguiente ejemplo:

Se desea encontrar mediante el procedimiento EKC la proporción óptima de cemento asfáltico para una mezcla elaborada con los materiales de las características que se indican a continuación:

Penetración del cemento asfáltico: 90

Densidad relativa aparente del material pétreo:

Fracción gruesa 2.45

Fracción fina 2.64

Proporción del material pétreo que pasa la malla Núm. 4.75, por ciento. 45

Peso específico relativo aparente promedio del material pétreo

$$S_{DP} = \frac{100}{\frac{55}{2.45} + \frac{45}{2.64}} = 2.53$$

Area superficial del material pétreo, m²/Kg 6.62

Equivalente de queroseno centrifugado (EKC) = 5.6, que en este caso no requiere corrección y es igual a EKC_c 5.6

Proporción de aceite retenido, por la fracción gruesa, AR_c , en por ciento. 1.9

Proporción de aceite retenido, AR , en por ciento

$$AR = 1.9 \frac{2.45}{2.65} = 1.76$$

Empleando los valores anteriores y usando las gráficas de las Figuras Núms. 70 a Núm. 74 se obtiene:

De la gráfica de la Figura Núm. 70,
 $K_i = 1.25$

De la gráfica de la Figura Núm. 71
 $K_g = 0.8$

Corrección para aplicar la gráfica de la Figura Núm. 72.

$$K_g - K_i = 0.80 - 1.25 = -0.45$$

Siendo negativo el valor de la diferencia citada, también lo será la corrección K_{ic} obtenida en la gráfica de la Figura Núm. 72, resultando así de 0.15, por lo que el valor de la constante de superficie del material integrado por sus fracciones gruesa y fina es de:

$$K_m = 1.25 - 0.15 = 1.10$$

De la gráfica de la Figura Núm. 73, se obtiene el contenido óptimo aproximado de rebajado

asfáltico de fraguado rápido o medio, del tipo dos (2), que es en este caso de cuatro punto seis por ciento (4.6%), con respecto al peso del material pétreo.

Como en la mezcla asfáltica considerada en este ejemplo se va a emplear un cemento asfáltico de penetración 90, se corrige la proporción óptima determinada para rebajados empleando la gráfica de la Figura Núm. 74, de donde se obtiene una proporción óptima aproximada, corregida por penetración, de cinco punto seis por ciento (5.6%) de cemento asfáltico.

d) Al efectuar esta prueba deberán tenerse las siguientes precauciones:

- d1) Determinar correctamente la longitud del radio de giro de la muestra para tomar en cuenta las variaciones originadas por el acomodo de la misma en los vasos de centrifugado.
- d2) Verificar la calibración del aparato de centrifugado para que se opere a la velocidad requerida por la prueba.
- d3) No operar el aparato de centrifugado con muestra en un sólo vaso, para evitar imprecisiones en la prueba y que se desajuste el centrifugador.

012-D.03 La determinación de la proporción óptima de material asfáltico para una mezcla, mediante las pruebas de compresión axial y de compresión diametral, toma en

cuenta la elaboración de especímenes de prueba utilizando mezclas preparadas con diferentes contenidos de material pétreo y de producto asfáltico que satisfagan los requisitos de calidad establecidos en los capítulos (010 y 011) respectivamente del Libro 4 de estas Normas, las cuales se compactarán fundamentalmente con carga estática, dándoles previamente un acomodo para disminuir la influencia de la forma de las partículas del material pétreo; un grupo de los especímenes elaborados se someterán a la acción de cargas axiales y otro a la de cargas diametrales, hasta alcanzar la falla, haciéndose en ambos casos determinaciones tanto con especímenes en seco como saturados. Con los datos obtenidos referentes a pesos específicos, resistencia a la compresión axial, deformación final, resistencia a la compresión diametral y en algunos casos por ciento de vacíos, se definirá gráficamente la proporción óptima de asfalto, que será aquella con la cual se logre en los especímenes de prueba, la mejor combinación de las características mencionadas. En general este procedimiento no se aplicará a mezclas que tengan menos de diez por ciento (10%) de partículas de material pétreo que pasan la malla Núm. 2.0 consideradas como de textura abierta, ni a las que se elaboran con cemento asfáltico, limitándose también su aplicación al caso de mezclas conteniendo más de doce por ciento (12%) de partículas que se retienen en la malla Núm. 25.0 y pasan la Núm. 37.5.

- a) El equipo y materiales necesarios para efectuar esta prueba son los siguientes:

Dieciséis (16) moldes de acero estructural de ciento uno punto seis (101.6) milímetros de diámetro interior, doscientos punto cero (200.0) milímetros de altura y seis punto cuatro (6.4) milímetros de espesor, Figura Núm. 75.

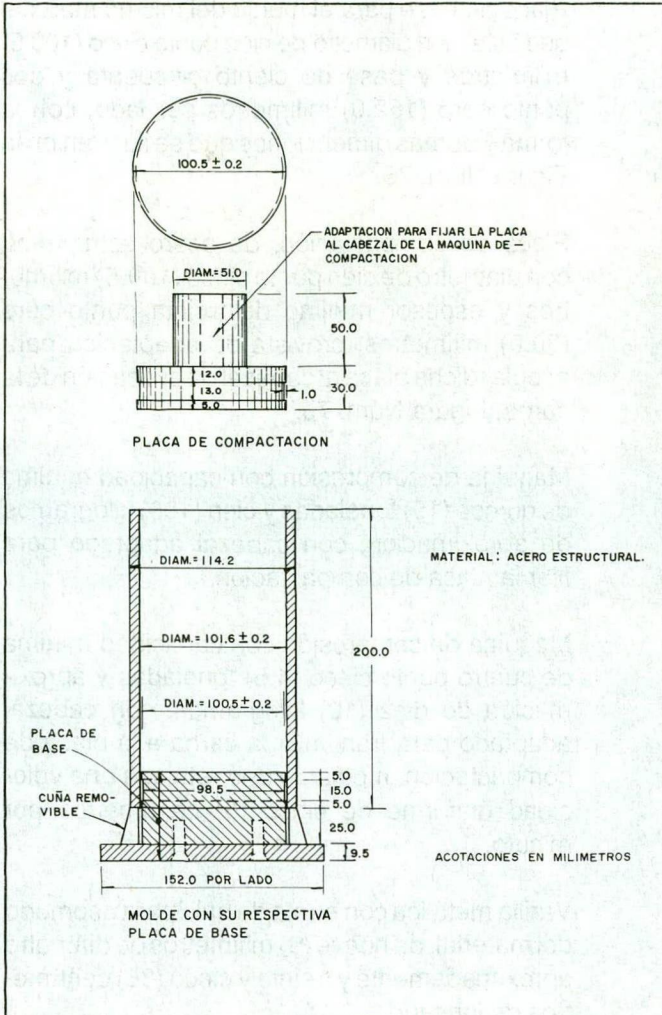


FIGURA NUM.- 75 MOLDE Y PLACA DE COMPACTACION PARA LA PRUEBA DE COMPRESION SIN CONFINAR EN MEZCLAS ASFALTICAS.

Placa de base para el molde del mismo material que éste, con diámetro de cien punto cinco (100.5) milímetros y base de ciento cincuenta y dos punto cero (152.0) milímetros por lado, con la forma y demás dimensiones que se ilustran en la Figura Núm. 75.

Placa de compactación, de acero estructural, con diámetro de cien punto cinco (100.5) milímetros y espesor mínimo de treinta punto cero (30.0) milímetros, provista de adaptación para acoplar dicha placa al cabezal de aplicación de la carga, Figura Núm. 75.

Máquina de compresión con capacidad mínima de quince (15) toneladas y cien (100) kilogramos de aproximación, con cabezal adaptado para fijar la placa de compactación.

Máquina de compresión con capacidad mínima de cuatro punto cinco (4.5) toneladas y aproximación de diez (10) kilogramos, con cabezal adaptado para transmitir la carga a la placa de compactación, mediante una rótula, a una velocidad uniforme de cinco (5) centímetros por minuto.

Varilla metálica con punta de bala para acomodo del material, de nueve (9) milímetros de diámetro aproximadamente y treinta y cinco (35) centímetros de longitud.

Balanza con capacidad mínima de diez (10) kilogramos y un (1) gramo de aproximación.

Balanza con capacidad mínima de dos (2) kilogramos y cero punto un (0.1) gramo de aproximación.

Horno para curar los especímenes de prueba con temperatura controlable hasta cien grados centígrados (100°C), con aproximación de un grado centígrado (1°C), provisto de ventilación.

Parrilla eléctrica o de gas con placa metálica para calentar materiales, con capacidad suficiente para obtener en ellos temperaturas de cien grados centígrados (100°C).

Mallas Núms. 37.5, 25.0, 19.0, 9.5, 4.75, 2.00, 0.850, 0.425, 0.250, 0.150 y 0.075.

Termómetro de inmersión parcial con rango de temperaturas de diez a ciento cincuenta grados centígrados (10 a 150°C) y aproximación de un grado centígrado (1°C).

Baños de agua con temperatura controlable de veinte a cien grados centígrados (20 a 100°C) y aproximación de un grado centígrado (1°C) y con capacidad adecuada para contener los moldes y la placa de compactación.

Cuerpo metálico de forma cilíndrica con diámetro ligeramente menor que el del molde, para extraer el espécimen elaborado.

Calzas metálicas para soportar el molde durante la compactación de la mezcla.

Extensómetro con carrera de veinticinco (25) milímetros y aproximación de cero punto cero un (0.01) milímetro.

Cucharas chicas de albañil.

Charolas de lámina de forma rectangular.

Charolas de lámina redondas.

b) El procedimiento de prueba es el siguiente:

b1) Previamente a la preparación de las muestras se verifica que los materiales utilizados para el estudio satisfagan los requisitos establecidos en los capítulos (010 y 011) del Libro 4 de estas Normas y se les determina el peso específico relativo aparente por inmersión en cemento asfáltico, siguiendo el procedimiento indicado en el inciso (010-F.02) de este Libro 6, así como el peso específico relativo del residuo asfáltico según se describe en el inciso (011-C.02). En la primera determinación se utiliza cemento asfáltico, estimándose que no habrá una diferencia significativa en el resultado si se hiciera con asfaltos rebajados o con emulsiones.

b2) Se determina el peso del material pétreo que pasa la malla Núm. 25.0, necesario para elaborar cada una de las ocho (8) mezclas de prueba, que se prepararán por cada contenido de asfalto, para lo cual se tomará en cuenta el peso volumétrico de la mezcla obtenido mediante un espécimen preliminar,

elaborándose los especímenes con una relación altura-diámetro de uno punto veinticinco (1.25).

b3) Se determina el contenido óptimo aproximado de asfalto calculándolo de acuerdo con lo descrito en el párrafo b) del inciso (012-C.03) de este Capítulo.

b4) La proporción de asfalto correspondiente a cada uno de los contenidos que como mínimo se estudiarán, son las siguientes:

Contenido óptimo aproximado, menos uno punto cero por ciento (-1.0%).

Contenido óptimo aproximado, menos cero punto cinco por ciento (-0.5%).

Contenido óptimo aproximado.

Contenido óptimo aproximado, más cero punto cinco por ciento (+0.5%).

Contenido óptimo aproximado, más uno punto cero por ciento (+1.0%).

Contenido óptimo aproximado, más uno punto cinco por ciento (+1.5%).

Contenido óptimo aproximado, más dos punto cero por ciento (+2.0%).

b5) Se elabora una de las ocho (8) mezclas que corresponde a uno de los contenidos de material asfáltico, siguiendo el procedimien-

to descrito en el subpárrafo b1), párrafo b) del inciso (012-C.04) y considerando sólo la fracción de material que pasa la malla Núm. 25.0, se toma el peso de material pétreo determinado como se describe en el subpárrafo b2) de este párrafo y se calientan los materiales pétreos y asfálticos a cincuenta grados centígrados (50°C), excepto que cuando se utilizan emulsiones no deberán calentarse dichos materiales.

- b6) Se continúan revolviendo las mezclas así preparadas, manteniéndolas a su temperatura de elaboración hasta completar su curado, el cual se controlará verificando su peso frecuentemente y a intervalos no mayores de diez (10) minutos inicialmente, debiendo ser más cortos a medida que la mezcla se acerca a su peso final P_f , o sea el que tiene cuando pierde la cantidad de solventes, P_{se} , previamente establecida; esta última se determina mediante la siguiente fórmula:

$$P_{se} = P_s - KP_c$$

En donde:

P_{se} es el peso de los solventes que se eliminan a la mezcla durante su elaboración, previamente a su compactación, en gramos.

P_s es el peso de los solventes que inicialmente contiene el producto asfáltico utilizado en preparar la mezcla, en gramos.

P_c es el peso del residuo asfáltico que contiene el producto utilizado en preparar la mezcla, en gramos.

K es la relación en peso, de solventes a residuo asfáltico en la mezcla, fijada para su compactación; es adimensional y en general será de 0.08, debiendo establecerse para cada estudio.

b7) Se determina el peso final de la mezcla asfáltica curada más la tara, P_{ft} , mediante la fórmula siguiente:

$$P_{ft} = P_p + P_t + P_a - P_{se}$$

En donde:

P_{ft} es el peso final de la mezcla de prueba ya curada, más la tara, en gramos.

P_p es el peso de la muestra de material pétreo seco, en gramos.

P_t es el peso de la tara, en gramos.

P_a es el peso del material asfáltico, utilizado para elaborar la mezcla de prueba, en gramos.

P_{se} es el peso de los solventes eliminados a la mezcla durante su elaboración y curado, en gramos.

- b8) El curado de las mezclas elaboradas con emulsiones asfálticas se efectuará remezclándolas hasta que claramente se inicie el rompimiento de la emulsión sin provocar que se desprenda del agregado pétreo; al estar ocurriendo el rompimiento se escurrirá el agua remanente, siendo en esta etapa en la que debe compactarse la mezcla, seleccionando para ello la humedad y estado de rompimiento que en estas condiciones proporcione los mayores pesos volumétricos.
- b9) Estando la placa de base, la placa de compactación y el molde de prueba limpios y a la temperatura de cincuenta grados centígrados (50°C), se monta este último sobre la placa de base, colocándolo sobre las calzas de manera que dicha placa sólo penetre en el molde hasta su anillo inferior, debiendo quedar el conjunto nivelado y sobre una superficie firme; en el caso de mezclas con emulsiones, no se requiere calentar el equipo para elaborar los especímenes.
- b10) Inmediatamente después de curada la mezcla se deposita en el molde en dos (2) capas, dándole a cada una un acomodo inicial mediante veinte (20) penetraciones de la varilla, distribuidas simétricamente.
- b11) A continuación y para formar el espécimen de prueba, se compacta la mezcla asfáltica contenida en el molde, aplicándole por medio de la máquina de compresión una carga inicial de reacomodo que corresponda a una presión de veinticinco (25) kilogramos por

centímetro cuadrado; realizado lo anterior, se libera la carga referida y se remueven las calzas en que se apoya el molde de compactación; en seguida se aplica carga en forma lenta y uniforme hasta alcanzar en cinco (5) minutos la carga de compactación correspondiente a una presión de cien (100) kilogramos por centímetro cuadrado, la que se sostiene durante un lapso de dos (2) minutos, después de lo cual se libera.

b12) Se retira de la máquina de compresión el molde conteniendo el espécimen, se remueve la placa de base y se dejan a la temperatura ambiente hasta que el espécimen adquiera la consistencia necesaria para que pueda ser extraído sin que se dañe; en el caso de mezclas con emulsiones asfálticas este período de reposo será de tres (3) días manteniendo los moldes con el espécimen en posición horizontal para facilitar el drenado.

b13) Transcurrido el período de reposo se extrae el espécimen del molde y se le determinan su diámetro y altura promedios anotándolos en la hoja de registro, con aproximación de un (1) milímetro; en seguida se verifica la relación altura-diámetro promedio del espécimen, la que deberá ser de uno punto veinticinco (1.25), aproximadamente.

b14) En forma similar a la descrita en los subpárrafos b5) a b12) de este párrafo, se elaboran sucesivamente cada uno de los especímenes hasta completar los ocho (8) de cada

contenido de asfalto considerado en el estudio y haciendo cuidadosamente el ajuste en la cantidad de mezcla utilizada para que se logre la uniformidad requerida en la altura de dichos especímenes; tratándose de mezclas del mismo estudio, en los diferentes contenidos de asfalto y respecto a las alturas de todos los especímenes, éstos no tendrán entre sí discrepancias mayores de cinco (5) milímetros; de lo contrario, los que no satisfagan este requisito se desecharán y serán sustituidos por nuevos especímenes que cumplan los requisitos establecidos en la prueba.

- b15) Se determina el peso volumétrico de cada uno de los especímenes correspondientes a cada contenido de asfalto, mediante el método de la parafina que se describe en el inciso (012-E.06) de este Capítulo, y se anotan, en la hoja de registro, Figuras 76 y 76A, separando los valores correspondientes a los especímenes de cada contenido de asfalto.
- b16) Con los ocho (8) especímenes correspondientes a cada contenido de asfalto se forman dos (2) grupos A y B: los primeros grupos, o sea los A, están constituidos cada uno (1) por cuatro (4) especímenes que se conservan de dieciséis (16) a veinticuatro (24) horas a la temperatura ambiente, después de lo cual se colocan en un baño de aire o en ambiente a la temperatura de veinticinco más menos cero punto cinco grados centígrados ($25 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$), por un período de dos (2) horas antes de someterlos a la prueba



CENTRO SCT _____
UNIDAD DE LABORATORIOS _____
RESIDENCIA _____

DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS TECNICOS
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO
LABORATORIO _____

PRUEBAS DE COMPRESION AXIAL EN SECO

FIGURA NUM.- 76 FORMA DE REGISTRO PARA LAS PRUEBAS DE COMPRESION AXIAL.

CENTRO SCT _____
UNIDAD DE LABORATORIOS _____
RESIDENCIA _____

DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS TECNICOS
DEPARTAMENTO DE LABORATORIOS
LABORATORIO _____

PRUEBAS DE COMPRESION DIAMETRAL EN SECO

PROBETA NUM.	% DE C.A. EN PESO RESPECTO AL AGREGADO	% DE C.A. EN PESO RESPECTO A LA MEZCLA	PESO DEL ESPECIMEN EN AIRE, g	VOLUMEN DEL ESPECIMEN cm ³	PESO VOLUMETRICO		VOLUMEN TOTAL DE VACIOS %	VACIOS MATERIAL PETREO V. A. M. %	PRUEBAS DEL ESPECIMEN EN						
					ESPECIMEN kg/m ³	PROMEDIO kg/m ³			LECTURA MICROMETRO	ALTURA ESPECIMEN cm	RESISTENCIA A LA COMPRESION DIAM. kg/cm ²	RESISTENCIA PROMEDIO kg/cm ²	FLUJO 0.01 plg.	FLUJO EN mm	FLUJO PROMEDIO mm
1	5.0	4.76	1952	996.3	1959	1948	13.4		59	12.3	2.2	1.7	4.5	1.1	1.10
2			1995	1028.7	1939				30	12.7	1.1		4.5	1.1	
3	5.5	5.21	2025	1020.6	1983	1976	11.6		60	12.6	2.2	2.0	4.5	1.1	1.05
4			2009	1020.6	1968				49	12.4	1.8		4.0	1.0	
5	6.0	5.66	2142	1077.3	1988	2005	9.8		49	13.3	0.7	1.6	3.5	0.9	0.95
6			2113	1044.9	2022				71	12.9	2.5		4.0	1.0	
7	6.5	6.10	2126	1044.9	2035	2037	7.9		54	12.9	1.9	2.0	2.5	0.6	0.80
8			2129	1044.9	2038				60	12.9	2.1		4.0	1.0	
9	7.0	6.54	2140	1036.8	2064	2068	6.0		70	12.8	2.5	2.5	4.0	1.0	0.90
10			2130	1028.7	2071				70	12.7	2.5		3.0	0.8	
11	7.5	6.98	2134	1020.6	2091	2091	4.5		61	12.6	2.2	2.8	2.0	0.5	0.50
12			2116	1012.5	2090				91	12.5	3.3		2.0	0.5	
13	8.0	7.41	2137	1028.7	2077	2083	4.3		66	12.7	2.4	2.4	1.0	0.3	0.35
14			2132	1020.6	2089				67	12.6	2.4		1.5	0.4	
CONSTANTE DE ANILLO = 4.88 DENSIDAD DEL CEMENTO ASFALTICO (DCA) = 1.03 DENSIDAD DEL MATERIAL PETREO POR INMERSION EN CEMENTO ASFALT. = 2.39								OBSERVACIONES:							

FIGURA NUM.- 76A FORMA DE REGISTRO PARA LAS PRUEBAS DE COMPRESION DIAMETRAL.

respectiva. Los segundos grupos, o sea los B, estarán formados cada uno por cuatro (4) especímenes que se conservan de dieciséis (16) a veinticuatro (24) horas, a la temperatura ambiente, sometiéndolos a continuación y durante cuatro (4) días a una inmersión en baño de agua a la temperatura de veinticinco más menos cero punto cinco grados centígrados ($25 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$).

b17) Se toma uno (1) de los especímenes de uno de los grupos A, que estarán a la temperatura de veinticinco más menos cero punto cinco grados centígrados ($25 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$), se coloca y centra en la máquina de compresión, aplicándole a continuación una carga inicial de diez (10) kilogramos; se instala el extensómetro y se pone en cero, después de lo cual se somete el espécimen a la prueba de compresión axial, aplicándole carga a una velocidad uniforme para obtener una deformación vertical, de cincuenta punto cero (50.0) milímetros por minuto, hasta alcanzar la mayor carga que resista el espécimen, la que se registra como P_a , en kilogramos. Al presentarse dicha carga se toma la lectura del extensómetro y se anota en la hoja de registro como valor del flujo, d_a , en milímetros. Hecho lo anterior se toma otro de los especímenes del grupo A seleccionado y se le aplica el procedimiento descrito en este subpárrafo.

b18) Se toma el tercero de los especímenes del grupo A seleccionado y se coloca en la máquina de compresión, estando éste a la

temperatura de prueba de veinticinco más menos cero punto cinco grados centígrados ($25 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$) y se somete a la prueba brasileña o de compresión diametral con registro de flujo vertical, para lo cual se procede según lo descrito en el inciso (6.01.02.004-0.17), de este Libro 6, colocando el espécimen en la platina de la máquina de compresión y procediendo al montaje del extensómetro para la determinación del flujo; al espécimen así colocado se le aplica carga distribuida uniformemente a lo largo de dos (2) de sus generatrices unidas por un mismo diámetro, a una velocidad constante de deformación vertical de cincuenta punto cero (50.0) milímetros por minuto hasta alcanzar la carga de ruptura que se registra como P_u , en kilogramos; al presentarse dicha carga se toma la lectura del extensómetro y se anota como valor del flujo, d , en milímetros, con aproximación de cero punto un (0.1) milímetro. Respecto a la forma en que se aplica en mezclas asfálticas el procedimiento descrito en el inciso (6.01.02.004-0.17), de este Libro 6, se hace notar que en todos los casos se utilizan las cuatro (4) placas para guiar y centrar la carga y además, las dos (2) tiras de distribución de la misma serán metálicas de uno punto cinco (1.5) centímetros de ancho por cero punto cinco (0.5) centímetros de espesor, como mínimo y, con curvatura en la cara de contacto igual a la del espécimen.

- b19) Se toma el cuarto espécimen del Grupo A seleccionado y se le aplica el procedimiento descrito en el subpárrafo b18) de este párra-

fo, después de lo cual se determina su contenido de cemento asfáltico por el procedimiento descrito en el inciso (012-I.02) de este Capítulo.

- b20) Terminadas las pruebas de los especímenes correspondientes al grupo A del contenido de asfalto seleccionado, se van ensayando sucesivamente los demás grupos A de cada uno de los demás contenidos considerados en el estudio, aplicando para ello los procedimientos descritos en los subpárrafos b17) a b19) de este párrafo.
- b21) Del grupo B de especímenes de prueba correspondiente al contenido de asfalto inicialmente seleccionado y una vez transcurrido el período de cuatro (4) días de inmersión en agua, a que se refiere el subpárrafo b16) de este párrafo, se toman sucesivamente dos (2) de los especímenes y se dejan escurrir el tiempo indispensable para que no mojen el equipo, lapso que no será mayor de cinco (5) minutos; hecho lo anterior se someten sucesivamente a la prueba de compresión axial con medición del flujo vertical, como se describe en el subpárrafo b17) de este párrafo.
- b22) Se sacan del baño los dos (2) especímenes restantes del grupo B seleccionado y se dejan escurrir como se indica en el subpárrafo b21) de este párrafo, después de lo cual se someten sucesivamente a la prueba de compresión diametral con medición de flujo vertical, siguiendo el procedimiento indicado en el subpárrafo b18) de este párrafo.

b23) Terminada la prueba correspondiente al grupo B del contenido de cemento asfáltico seleccionado, se van ensayando sucesivamente los demás grupos B de cada uno de los contenidos que incluye el estudio, aplicando para ello el procedimiento indicado en los subpárrafos b21) y b22) de este párrafo.

c) En esta prueba se calcula y reporta lo siguiente:

c1) Se promedian los pesos volumétricos de todos los especímenes elaborados con un mismo contenido de asfalto, obtenidos según se indica en el subpárrafo b15) párrafo b) de este inciso, debiendo desecharse los pesos volumétricos de los especímenes del grupo que discrepen en forma significativa. El resultado se anota en la hoja de registro con aproximación de diez (10) kilogramos por metro cúbico.

c2) Se calcula la resistencia a la compresión axial de cada uno de los especímenes de prueba tanto de los grupos ensayados en húmedo como de los probados en seco de los diferentes contenidos de asfalto, mediante la siguiente fórmula:

$$R_c = \frac{P_a}{A_s}$$

En donde:

R_c es la resistencia a la compresión axial, en kilogramos por centímetro cuadrado.

P_a es la carga axial máxima que se registra al iniciarse la falla, en kilogramos.

A_s es el área de la sección transversal del espécimen calculada utilizando su diámetro promedio, con aproximación de cero punto un (0.1) centímetro cuadrado.

Se promedian y registran los valores de resistencia de los dos (2) especímenes de prueba de cada grupo, por una parte los ensayados en seco y por otra los probados en húmedo de cada contenido de asfalto.

- c3) Se calcula el valor convencional de resistencia a la tensión por compresión diametral de cada uno de los especímenes correspondientes, tanto de los probados en seco como de los probados en húmedo, de los diferentes contenidos de asfalto, mediante la siguiente fórmula:

$$R_d = \frac{P_d}{Dh}$$

En donde:

R_d es el valor convencional de la resistencia a la tensión por compresión diametral, en kilogramos por centímetro cuadrado.

P_d es la carga máxima aplicada diametralmente al espécimen, en kilogramos.

D es el diámetro promedio del espécimen, en centímetros, con aproximación de cero punto un (0.1) centímetro.

h es la altura promedio del espécimen, en centímetros, con aproximación de cero punto un (0.1) centímetro.

Se promedian y registran los valores de resistencia convencional a la tensión por compresión diametral, de los dos (2) especímenes de prueba de cada grupo, por una parte los ensayados en seco y por otra los probados en húmedo, de cada contenido de asfalto.

c4) Se promedian y registran los valores de flujo, d_a , de los dos (2) especímenes de cada grupo probados a la compresión axial, por una parte los ensayados en húmedo y por otra los probados en seco, de cada contenido de asfalto.

c5) Se promedian y registran los valores de flujo, d , de los dos (2) especímenes de cada grupo probados a la compresión diametral, por una parte los ensayados en húmedo y por otra los probados en seco, de cada contenido de asfalto.

c6) Se calcula el porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica compactada, de todos los especímenes elaborados con un mismo contenido de asfalto, determinando los pesos volumétricos según se indica en el subpárrafo c1) de este párrafo c), y siguiendo el

procedimiento descrito en el párrafo b) del inciso (012-E.01) de este Capítulo; el porcentaje de vacíos de la mezcla compactada correspondiente a cada contenido de asfalto, se anota en la hoja de registro.

c7) Con los datos de peso volumétrico, de resistencia, de flujo y porcentaje de vacíos obtenidos según los subpárrafos c1) a c6) de este párrafo y los correspondientes contenidos de asfalto expresados como por ciento en peso, con relación al del material pétreo de los especímenes respectivos, se dibujan mediante un sistema de ejes coordenados, las gráficas, por ciento de cemento asfáltico, contra cada uno de los siguientes conceptos: peso volumétrico, resistencia a la compresión axial en seco, resistencia a la compresión axial en húmedo, resistencia a la compresión diametral en seco, resistencia a la compresión diametral en húmedo; así como contra flujo de especímenes en seco, flujo de especímenes en húmedo, y porcentaje de vacíos, Figuras Núm. 76B y 76C. Del análisis de todas estas gráficas se deduce la proporción óptima de asfalto que permita el mayor peso volumétrico, las mayores resistencias y el flujo aceptable, siendo en todo caso el por ciento de asfalto recomendado, aquél con el cual se logren más ventajas en los aspectos señalados.

d) Al efectuar esta prueba se deberán tomar las siguientes precauciones:

NORMAS PARA MUESTREO Y PRUEBAS DE LOS MATERIALES, EQUIPOS Y SISTEMAS

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES		
DEPENDENCIA <u>D.G.S.T.</u>		
CENTRO SCT. <u>EDO DE MEXICO</u>		☐ UNIDAD DE LABORATORIOS DE TOLUCA
RESIDENCIA _____		
PRUEBA DE COMPRESION AXIAL EN SECO		
OBRA <u>CARRETERA: MEXICO-VERACRUZ</u>		ENSAJE N° <u>1567</u>
LOCALIZACION <u>Km. 210+000</u> (CIUDAD CAMINO TRAMO KILOMETRO ORIGEN DEL CADENAMIENTO, ETC.)		FECHA DE RECIBO <u>AGOSTO/87</u>
		FECHA DE INFORME <u>NOVIEMBRE/87</u>
MATERIAL PARA CAPA DE <u>CARPETA ASFALTICA</u>		
UBICACION DE LA PLANTA <u>BANCO "LAS DERRUMBADAS"</u>		
OBJETO DEL ENSAYE _____ ESTUDIO (X) _____ REVISION () _____		

Gráfico 1: Peso Volumetrico (kg/m³) vs. % C.A. EN PESO RESPECTO AL AGREGADO.

Gráfico 2: Resistencia a la Compresión Axial (kg/cm²) vs. % C.A. EN PESO RESPECTO AL AGREGADO.

Gráfico 3: % de Vacíos vs. % C.A. EN PESO RESPECTO AL AGREGADO.

Gráfico 4: Flujo (mm) vs. % C.A. EN PESO RESPECTO AL AGREGADO.

Gráfico 5: % de V.A.M. vs. % C.A. EN PESO RESPECTO AL AGREGADO.

CARACTERISTICAS	DATOS OBTENIDOS	NORMAS
CONTENIDO OPTIMO DE C.A. (%)	6.8	
PESO VOLUMETRICO (kg/m³)	2085	
VACIOS (%)	5.6	4-7
RESIST. A LA COMPR. AXIAL - EN SECO, kg/cm²	13.0	4 mín.
FLUJO (mm)	0.82	

EL LABORATORISTA	EL JEFE DEL LABORATORIO	Vc. Bo.
C. LEOPOLDO TOLEDO Y.	C. LEONCIO LÓPEZ Y.	

**FIGURA NUM.- 76B GRAFICAS Y RESULTADOS DE LA
PRUEBA DE COMPRESIÓN AXIAL EN SECO.**

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

DEPENDENCIA D. G. S. TCENTRO SCT EDO DE MEXICO☐ UNIDAD DE LABORATORIOS DE TOLUCA
RESIDENCIA _____PRUEBA DE COMPRESION DIAMETRAL EN SECOOBRA CARRETERA: MEXICO - VERACRUZENSAYE N° 1567

LOCALIZACION

(CIUDAD, CAMINO, TRAMO, KILOMETRO, ORIGEN DEL CADENAMIENTO, ETC.)

FECHA DE RECIBO AGOSTO /87FECHA DE INFORME NOVIEMBRE /87

MATERIAL PARA CAPA DE

CARPETA ASFALTICA

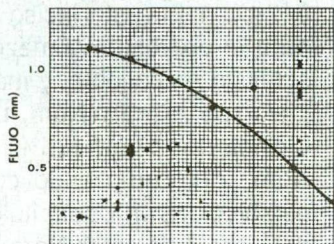
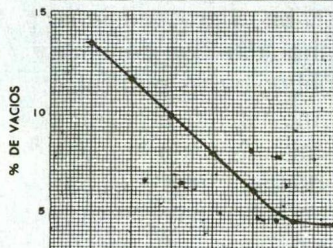
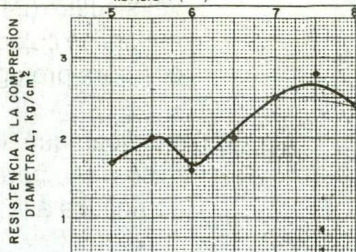
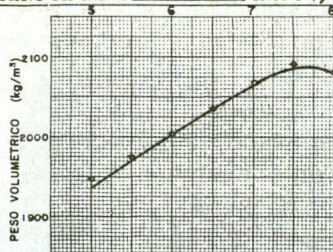
UBICACION DE LA PLANTA

BANCO "LAS DERRUMBADAS"

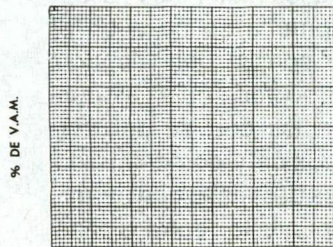
OBJETO DEL ENSAYE

ESTUDIO (X)

REVISION ()



% C.A. EN PESO RESPECTO AL AGREGADO



% C.A. EN PESO RESPECTO AL AGREGADO

CARACTERISTICAS	DATOS OBTENIDOS	NORMAS
CONTENIDO OPTIMO DE C.A. (%)	6.8	
PESO VOLUMETRICO (kg/m³)	2057	
VACIOS (%)	6.8	4 a 7
RESISTENCIA A LA COMPRESION DIAMETRAL EN SECO kg/cm²	2.3	
FLUJO (mm)	7.4	

EL LABORATORISTA

EL JEFE DEL LABORATORIO

Vc. Bo.

C. LEOPOLDO TOLEDO Y.

C. LEONCIO LOPEZ Y.

FIGURA NUM.- 76C GRAFICAS Y RESULTADOS DE LA PRUEBA DE COMPRESION DIAMETRAL EN SECO

- d1) Extraer cuidadosamente el espécimen del molde para evitar que sufra distorsiones o disgregaciones.
- d2) Cuando no sea posible efectuar a los especímenes las pruebas en seco, durante las veinticuatro (24) horas siguientes a su elaboración, se colocarán en recipientes herméticos para protegerlos.
- d3) Verificar que los especímenes tengan la misma temperatura en el momento de ser sometidos a la prueba de carga.

012-D.04 En este inciso se describe el procedimiento para el proyecto de mezclas elaboradas con cemento asfáltico en caliente, y material pétreo cuyas partículas pasan por la malla Núm. 4.75 y como mínimo, el sesenta y cinco por ciento (65%) de las mismas pasa la malla Núm. 2.0, cumpliendo con las demás características establecidas en los capítulos (4.01.03.010 y 4.01.03.011) del Libro 4 de estas Normas, para los materiales utilizados en mezclas asfálticas. La prueba se basa en el método de Hubbard Field, que consiste en elaborar especímenes con el agregado pétreo y diferentes proporciones de cemento asfáltico, en los que se definen, mediante su resistencia a la extrusión y porcentaje de vacíos, las diferentes proporciones de asfalto que permiten satisfacer los requisitos de proyecto; entre dichas proporciones se selecciona aquella que más conviene a las necesidades de la obra. Este procedimiento se aplicará preferentemente para el proyecto de mezclas asfálticas en carpetas con tránsito medio o bajo y estabilización de materiales.

- a) El equipo necesario para efectuar esta prueba en su mayor parte es el indicado en el inciso (009-T.02) de este Libro 6, excepto que:

El cabezal de la máquina deberá desplazarse a una velocidad de sesenta (60) milímetros por minuto.

El horno mantendrá una temperatura hasta de doscientos grados centígrados (200°C), con aproximación de tres grados centígrados (3°C).

El anillo para la extrusión deberá tener las dimensiones indicadas en la Figura Núm. 77.

No se requieren la guía, el pisón de compactación, ni el émbolo de prueba; en lugar de éste

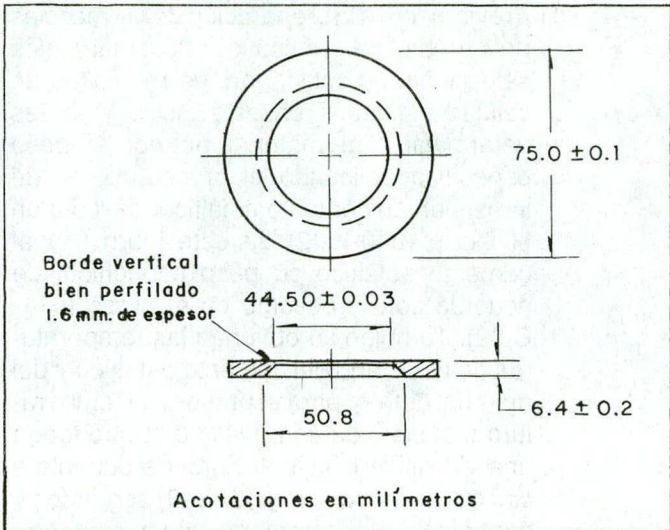


FIGURA NUM.- 77 ANILLO PARA LA EXTRUSION

último se utilizará el pistón de compactación indicado en el inciso (009-T.02) antes referido.

Además se contará con lo siguiente:

Baño o recipiente metálico galvanizado con altura mínima de quince (15) centímetros, treinta (30) centímetros de largo y veinticinco (25) centímetros de ancho, aproximadamente, adecuado para hacer las pruebas estando los especímenes sumergidos en agua.

Termómetro blindado, con registro de cero a doscientos grados centígrados (0 a 200°C) y aproximación de un grado centígrado (1°C).

b) El procedimiento de prueba es el siguiente:

b1) Previamente a la preparación de las mezclas de prueba, se verifica que los materiales seleccionados satisfagan los requisitos de calidad indicados en este inciso y se les determinará: al material pétreo, el peso específico aplicando el procedimiento de inmersión en cemento asfáltico, descrito en el inciso (010-F.02) de este Libro 6 y al cemento asfáltico su peso específico, de acuerdo con lo descrito en el inciso (011-C.02). También se obtienen las temperaturas de mezclado del cemento asfáltico y del material pétreo; para el primero, la temperatura mencionada es aquella a la que tenga una viscosidad Saybolt Furol de ochenta y cinco más menos diez (85 ± 10) segundos y para el material pétreo, es esta misma temperatura más diez grados centígrados

(+10°C). Por otra parte, se determina la temperatura de compactación de la mezcla que será aquella a la cual el cemento asfáltico tenga una viscosidad Saybolt Furol de ciento cuarenta más menos quince (140 ± 15) segundos; para fijar estas temperaturas se deberá recurrir a las respectivas gráficas viscosidad-temperatura del cemento asfáltico utilizado.

- b2) Para la preparación de las mezclas de prueba se tomará en cuenta el procedimiento que se describe en el subpárrafo b1) párrafo b) del inciso (012-C.04) de este Capítulo, considerando las temperaturas de mezclado previamente determinadas, y también que la cantidad de material pétreo requerida para cada mezcla es de quinientos (500) gramos y que las proporciones de asfalto respectivas se definirán con base en el contenido óptimo aproximado de cemento asfáltico determinado mediante el procedimiento descrito en el párrafo b) del inciso (012-C.03), los cuales serán:

Contenido óptimo aproximado, menos uno punto cero por ciento (-1.0%).

Contenido óptimo aproximado, menos cero punto cinco por ciento (-0.5%).

Contenido óptimo aproximado.

Contenido óptimo aproximado, más cero punto cinco por ciento (+0.5%).

Contenido óptimo aproximado, más uno punto cero por ciento (+1.0%).

Contenido óptimo aproximado, más uno punto cinco por ciento (+1.5%).

Contenido óptimo aproximado, más dos punto cero por ciento (+2.0%).

b3) Antes de iniciar la elaboración de los especímenes se limpian y calientan dos (2) moldes armados con sus correspondientes placas de base, a una temperatura de ciento treinta grados centígrados (130°C) colocándolos en el horno durante diez (10) minutos como mínimo.

b4) Se prepara una de las mezclas de prueba de uno de los contenidos de asfalto, siguiendo el criterio indicado en el subpárrafo b2) de este párrafo y estando la mezcla a la temperatura de compactación indicada en el subpárrafo b1) de este mismo párrafo; se sacan del horno los dos (2) moldes y sus placas de base, que se designarán como molde uno y molde dos, se colocan sobre una mesa y se vierte en cada uno de ellos la cantidad de mezcla necesaria, cien (100) gramos aproximadamente, para obtener en ambos un espécimen cilíndrico con altura de veinticinco punto cuatro más menos cero punto cinco (25.4 ± 0.5) milímetros, después de lo cual se regresan al horno los moldes con su contenido, y se mantienen a la temperatura de compactación durante un período de diez (10) minutos como mínimo.

- b5) Se saca del horno uno de los moldes conteniendo la mezcla asfáltica y se apoyan sobre las calzas dentro de un recipiente vacío con dimensiones adecuadas para contener y cubrir el molde; se coloca el conjunto sobre la platina de la prensa y se introduce en el molde el pistón de compactación con el que se aplica al espécimen una carga inicial de doscientos treinta (230) kilogramos; a continuación se retira la carga, se remueven las calzas y se compacta el espécimen aplicando una carga de manera uniforme hasta alcanzar en dos (2) minutos una carga de cuatro mil doscientos setenta y cinco (4,275) kilogramos, equivalente a una presión de doscientos once (211) kilogramos sobre centímetro cuadrado.
- b6) A continuación se llena el recipiente con agua fría hasta un tirante de ocho (8) centímetros y se deja enfriar la muestra bajo la acción de la carga de cuatro mil doscientos setenta y cinco (4,275) kilogramos, durante un período de cinco (5) minutos.
- b7) Transcurrido este tiempo se libera la carga, se invierte el molde, se retira la placa de base, se saca del molde la pastilla, utilizando el pistón de extrusión, y se coloca ésta ya compactada sobre una superficie plana; en seguida se marca con crayón su cara superior para su identificación y se deja a la temperatura ambiente por lo menos durante doce (12) horas antes de ser probada.
- b8) Se saca del horno el molde restante conteniendo la mezcla asfáltica y se le aplica el

procedimiento descrito en los subpárrafos b5) a b7) de este párrafo.

b9) Se preparan las mezclas y se elaboran las pastillas correspondientes a los demás contenidos de cemento asfáltico, procediendo de acuerdo con lo establecido en los subpárrafos b3) a b8) de este párrafo.

b10) Transcurrido el período de reposo se determina a cada uno de los especímenes su peso volumétrico, aplicando el método de la parafina que se describe en el inciso (012-E.06) de este Capítulo; los datos obtenidos se anotan en la columna "f" de la hoja de registro, Figura Núm. 78.

b11) Se determina la resistencia a la extrusión de cada espécimen de prueba, como se indica a continuación:

b11.a) Se colocan las pastillas y los moldes de prueba limpios en el baño o recipiente con agua a sesenta grados centígrados (60°C) y se dejan en éste durante una hora como mínimo antes de la prueba.

b11.b) Se montan dentro del baño o recipiente con agua, el anillo de extrusión y el molde de prueba sobre el soporte metálico, como se indica en la Figura Núm. 79; a continuación, se introduce uno de los especímenes en el molde de prueba, cuidando que su cara superior quede hacia arriba.

b11.c) Se coloca el conjunto sobre la platina de la máquina de prueba como se muestra en

SCT

CENTRO S.C.T. _____

UNIDAD DE LABORATORIOS _____

RESIDENCIA _____

DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS TECNICOS

DEPARTAMENTO DE ENSAYE DE MATERIALES

LABORATORIO CENTRAL

Pasti lla Núm.	Cemento As- fáltico en peso respec to al agre gado %	Cemento As- fáltico en peso respec to a la mez cla %	P e s o s		Volu- men total cm ³	Peso vo- lumétrico g/cm ³	Peso espe- cífico teórico máximo g/cm ³	Relaciones volumétricas respecto al total			Proporción de vacíos entre par- tículas de mat.pétreo VAM %	Resisten- cia a la extrusión kg.
			En aire	En agua				Asfalto	Material pétreo	Vacíos llenos de aire %		
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l
					c-d	c/a	(*)	(+)	(x)	100-h-i	100-i	
1	4.0	3.86	31.17	17.92	13.25	2.353	2.599	8.58	81.96	9.46	18.04	627
2	4.0	3.86	31.28	18.03	13.25	2.361	2.599	8.60	82.24	9.16	17.76	573
3	4.5	4.30	31.34	18.25	13.09	2.394	2.581	9.72	83.00	7.28	17.00	1270
4	4.5	4.30	31.48	18.40	13.08	2.407	2.581	9.77	83.46	6.77	16.54	1300
5	5.0	4.76	31.53	18.56	12.96	2.431	2.564	10.93	83.89	5.18	16.11	2030
6	5.0	4.76	31.65	18.62	13.03	2.429	2.564	10.92	83.82	5.26	16.18	1770
7	5.5	5.21	31.69	18.81	12.88	2.460	2.547	12.10	84.49	3.41	15.51	2260
8	5.5	5.21	31.60	18.71	12.89	2.452	2.547	12.06	84.21	3.73	15.79	2280
9	6.0	5.66	31.77	18.82	12.95	2.453	2.530	13.11	83.85	3.04	16.15	1850
10	6.0	5.66	31.73	18.76	12.97	2.446	2.530	13.07	83.61	3.32	16.39	1900
11	6.5	6.10	31.73	18.79	12.94	2.452	2.514	14.12	83.42	2.46	16.58	1720
12	6.5	6.10	31.85	18.86	12.99	2.452	2.514	14.12	83.42	2.46	16.58	1360
13	7.0	6.56	31.96	18.85	13.11	2.438	2.497	15.10	82.54	2.36	17.46	1260
14	7.0	6.56	31.89	18.83	13.06	2.442	2.497	15.12	82.67	2.21	17.33	1020
P R O M E D I O S												
						Kg/m ³						
1-2	4.0	3.86				2357		8.59	82.10	9.31	17.90	600
3-4	4.5	4.30				2400		9.74	83.23	7.03	16.77	1285
5-6	5.0	4.76				2430		10.92	83.86	5.22	16.14	1900
7-8	5.5	5.21				2456		12.08	84.35	3.52	15.65	2270
9-10	6.0	5.66				2449		13.09	83.73	3.18	16.37	1875
11-12	6.5	6.10				2452		14.12	83.42	2.46	16.58	1540
13-14	7.0	6.56				2440		15.11	82.61	2.28	17.39	1140

$$(*) \frac{100}{\frac{b}{S_{CA}} + \frac{100-b}{S_P}}$$

$$(+)$$

$$\gamma_o S_{CA}$$

$$(x) \frac{(100-b)f}{\gamma_o S_P}$$

Pesos específicos relativos de los materiales:

Asfalto, $S_{CA} = 1.059$ Agregado pétreo, $S_P = 2.76$

FIGURA NUM.-78 HOJA DE REGISTRO PARA PRUEBA DE EXTRUSION DE MEZCLAS EN CALIENTE

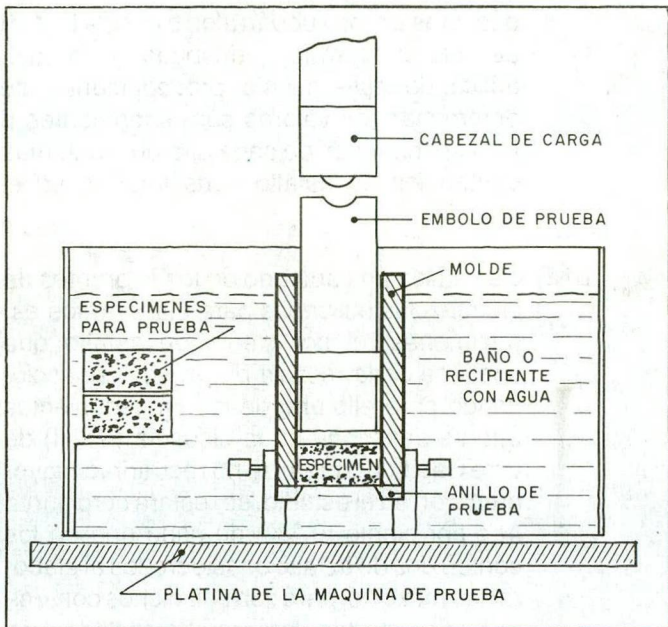


FIGURA NUM.- 79 DISPOSICION DEL EQUIPO HUBBARD FIELD PARA LA EXTRUSION DE LA PASTILLA.

la Figura Núm. 79 y se le aplica carga para que el espécimen se deforme a una velocidad constante de sesenta (60) milímetros por minuto. Se designa como resistencia a la extrusión el valor de la carga máxima obtenida, anotándolo en kilogramos en la columna "I" de la hoja de registro.

- b11.d) Se determina el valor de la resistencia a la extrusión del espécimen restante que corresponde al contenido de asfalto con que se inició la prueba, siguiendo para ello los pasos

descritos en los subpárrafos b11.b) a b11.d) de este subpárrafo, y después de lo cual, aplicando este mismo procedimiento, se determinan los valores correspondientes a los especímenes de cada uno de los demás contenidos de asfalto considerados en el estudio.

b12) Se verifica en cada uno de los sobrantes de las mezclas utilizadas para elaborar los especímenes, el por ciento de asfalto que contiene cada mezcla de prueba, seleccionando para ello uno de los procedimientos que se describen en la cláusula (012-I) de este Capítulo o bien, de no requerirse mayor precisión en el estudio, se restará cero punto tres por ciento (0.3%) de cada uno de los contenidos de asfalto considerados al elaborar las mezclas, para corregir dichos contenidos por pérdidas durante el mezclado. Los contenidos de cemento asfáltico así corregidos se anotan en la columna "a" de la hoja de registro, Figura Núm. 78.

c) En esta prueba se calcula y reporta lo siguiente:

c1) Se determina el peso específico teórico máximo de cada una de las mezclas asfálticas consideradas en el estudio, de acuerdo con lo que se indica en el inciso (012-E.01) y los datos obtenidos se anotan en la columna "g" de la hoja de registro.

c2) Se calcula de cada uno de los especímenes el porcentaje de vacíos del material pétreo, VAM, de acuerdo con lo que se describe en

el inciso (012-E.01) y los datos obtenidos se anotan en la columna "k" de la hoja de registro.

c3) Se calcula el porcentaje de vacíos de la mezcla compactada que forma cada uno de los especímenes, siguiendo el procedimiento que se describe en el inciso (012-E.01) y los datos obtenidos se anotan en la columna "j" de la hoja de registro.

c4) Utilizando los valores promedio obtenidos para cada contenido de asfalto, se dibujan en formas como las de la Figura Núm. 80, las gráficas que a continuación se indican:

Peso volumétrico-Porcentaje de cemento asfáltico.

Porcentaje de vacíos de la mezcla compactada- Porcentaje de cemento asfáltico.

Porcentaje de vacíos del material pétreo- Porcentaje de cemento asfáltico.

Resistencia a la extrusión- Porcentaje de cemento asfáltico.

c5) En cada gráfica se analizará cual es la proporción de asfalto que en mejor forma satisface los requerimientos del pavimento, fundamentalmente en cuanto a resistencia a la extrusión y vacíos, con lo cual se definirá el contenido óptimo que se reportará como resultado de esta prueba.

NORMAS PARA MUESTREO Y PRUEBAS DE LOS
MATERIALES, EQUIPOS Y SISTEMAS

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS TECNICOS

DIRECCION DE ESTUDIOS

SUBDIRECCION DE LABORATORIOS

DEPARTAMENTO DE ENSAYE DE MATERIALES

PRUEBA DE EXTRUSION

OBRA INGENIO TABETAN HIGH.

PROCEDENCIA _____

LOCALIZACION BANCO EL LIMON

ENVIADO POR _____

MATERIAL PARA CAPA DE CARPETA

UBICACION DE LA PLANTA _____

OBJETO DEL ENSAYE _____

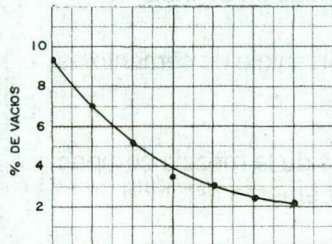
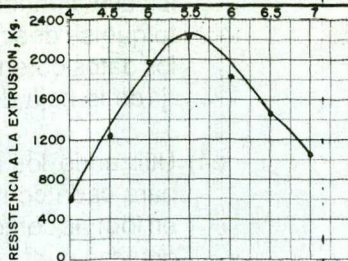
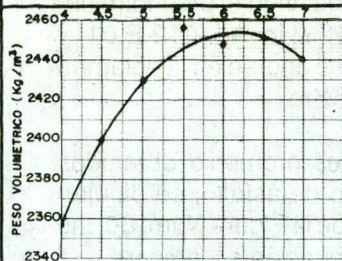
ESTUDIO () _____

REVISION () _____

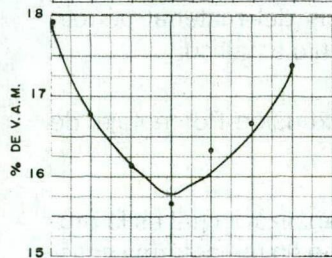
ENSAYE NUM. 27/87

FECHA DE RECIBO 16/X/87

FECHA DE INFORME 27/X/87



% C.A. EN PESO RESPECTO AL AGREGADO



% C.A. EN PESO RESPECTO AL AGREGADO

CARACTERISTICAS	DATOS OBTENIDOS	NORMAS
CONTENIDO OPTIMO DE C.A. (%)	5.5	
PESO VOLUMETRICO	2445	
VACIOS (%)	3.9	
V.A.M. (%)	15.8	
RESIST. A LA EXTRUSION, Kg.	2180	

EL LABORATORISTA _____

EL JEFE DEL _____

EL JEFE DE LA OFICINA _____

**FIGURA NUM.- 80 GRAFICAS PARA ANALISIS DE
RESULTADOS DE LA PRUEBA DE EXTRUSION DE
MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE.**

- c6) Si los resultados de la prueba no satisfacen el criterio de aceptación establecido para la mezcla se analizará un nuevo proyecto.

012-D.05 En este inciso se describe el método Marshall para el proyecto y control de mezclas elaboradas utilizando materiales pétreos con tamaño máximo de veinticinco (25) milímetros y cemento asfáltico en caliente, asfaltos rebajados o emulsiones asfálticas que satisfagan los requisitos establecidos en los capítulos (010 y 011), respectivamente, del Libro 4 de estas Normas; el procedimiento consiste fundamentalmente en elaborar especímenes cilíndricos a los cuales se les determina su peso volumétrico, porcentaje de vacíos, estabilidad en sentido diametral, y deformación al alcanzarse la máxima resistencia; estas dos (2) últimas determinaciones se podrán hacer bajo condiciones desfavorables de humedad y de temperatura; a las mezclas elaboradas con asfaltos rebajados o con emulsiones, también se les determinará la influencia del agua en su comportamiento. En este método el análisis de los parámetros mencionados permite conocer o controlar las condiciones más favorables de impermeabilidad y durabilidad de la mezcla, con lo cual se pueden fijar márgenes para evitar exceso o escasez de aglutinante. El valor de estabilidad es un índice de la resistencia estructural de la mezcla asfáltica compactada y el flujo es un indicador de su flexibilidad y pérdida de resistencia a la deformación; ambas propiedades ayudan por otra parte a juzgar las características de forma y superficie del material pétreo que integra la mezcla. El método Marshall se aplica al control de todas o algunas de las características que el mismo involucra, según se establezca en el proyecto. Para el diseño de mezclas asfálticas se elaborarán especímenes con diferentes porcentajes de asfalto, a fin de conocer cuales son los que proporcionan condiciones

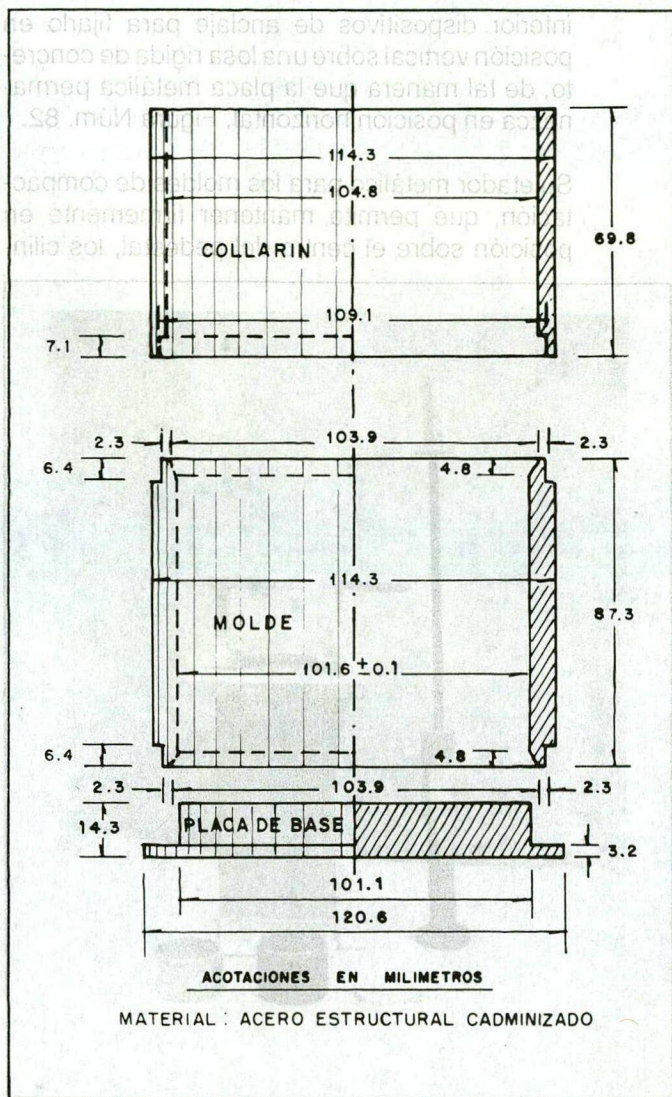
favorables y de ellos seleccionar el contenido óptimo de asfalto o el más conveniente, para el material pétreo estudiado con la granulometría previamente fijada. Para verificar la mezcla asfáltica producida en la obra, se compararán las características de granulometría, contenido de asfalto y peso volumétrico de la mezcla compactada, con los obtenidos siguiendo todo el proceso de diseño que se describe; sin embargo, cuando haya discrepancias significativas entre los datos mencionados, se moldearán especímenes con la mezcla producida en la obra, a los que se les determinará su estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos, para verificar si cumplen con los requisitos que al respecto establece el proyecto.

a) El equipo y material necesarios para efectuar esta prueba son los siguientes:

Seis moldes metálicos para compactación, con diámetro interior de ciento uno punto seis más menos cero punto un (101.6 ± 0.1) milímetros y altura de ochenta y siete punto tres (87.3) milímetros, Figura Núm. 81.

Extensión o collarín y una placa de base, ambas para acoplarse indistintamente en los dos (2) extremos de los seis (6) moldes, Figura Núm. 81.

Pedestal de compactación consistente en un bloque de madera, con peso específico relativo aproximado de cero punto setenta y dos (0.72), con sección de veinte (20) por veinte (20) centímetros y altura de cuarenta y cinco (45) centímetros, llevando sujeta en su parte superior una (1) placa metálica cuadrada de dos punto cinco (2.5) centímetros de espesor y treinta (30) centímetros por lado, teniendo el pedestal en su parte



**FIGURA NUM.-81 MOLDE DE COMPACTACION
PARA LA PRUEBA DE MARSHALL.**

inferior dispositivos de anclaje para fijarlo en posición vertical sobre una losa rígida de concreto, de tal manera que la placa metálica permanezca en posición horizontal, Figura Núm. 82.

Sujetador metálico para los moldes de compactación, que permita mantener firmemente en posición sobre el centro del pedestal, los cilin-



FIGURA NUM.-82 EQUIPO DE COMPACTACION

dros montados con su base y collarín, para compactar la mezcla que contienen, Figura Núm. 82.

Pisón de compactación con superficie circular de apisonado de noventa y ocho punto cuatro (98.4) milímetros de diámetro, teniendo una pesa deslizante de cuatro mil quinientos treinta y seis (4,536) gramos, con altura de caída de cuatrocientos cincuenta y siete punto dos (457.2) milímetros, Figura Núm. 83.

Máquina de prueba Marshall con capacidad de tres mil (3,000) kilogramos accionada con motor eléctrico, equipada con mordazas semicirculares para aplicar cargas a los especímenes de prueba a una velocidad constante de deformación de cincuenta punto ocho (50.8) milímetros por minuto y provista de un dinamómetro de anillo calibrado para cargas, con sensibilidad de diez (10) kilogramos Figuras Núm. 84 y 85.

Extensómetro para medir la deformación vertical o flujo del espécimen, con carrera de veinticinco punto cuatro (25.4) milímetros y aproximación de cero punto un (0.1) milímetro.

Dispositivo para extraer los especímenes del molde.

Mezclador mecánico, con tazones de dos (2) litros de capacidad como mínimo y agitadores de espátula, que cuente con dispositivo termostático adecuado para mantener la temperatura de mezclado.

mezclado:

co adecuado para mantener la temperatura de
esbafina' due cuando con dispositivo termoelectro-
nico de esbafina' como material y aditivos de
mezclado: mezclado' con razones de dos (3)

mojado

Dispositivo para extraer los esbafines de

cero bulto en (0'1) milímetros

bulto cónico (32'4) milímetros y aproximación de
o bulto de esbafina' con cónica de lejanía
extrínseca para medida de aproximación lejana

ques (10) kilogramos Figuras 84 y 85

unión cónica para esbafina' con esbafina' de
bol mudo y bultos de un kilogramo de
ción de esbafina' bulto cónico (20'8) milímetros
bultos a una longitud constante de aproximación
para esbafina' esbafina' a los esbafines de
eléctrico' esbafina' con medidas geométricas
nes m (3'000) kilogramos esbafina' con mudo
medida de bultos mudo con esbafina' de

metros' Figuras 84 y 85

cónicos esbafina' y esbafina' de (4'25'5) mil-
(4'236) metros' con esbafina' de esbafina' de esbafina'
izante de esbafina' mil esbafina' esbafina' y esbafina'
milímetros de esbafina' teniendo una esbafina' de
esbafina' de esbafina' y esbafina' bulto cónico (28'4)
Esbafina' de esbafina' con esbafina' esbafina' de

Figura 85

esbafina' la esbafina' due contiene' Figuras
dos esbafina' con en esbafina' y esbafina' para

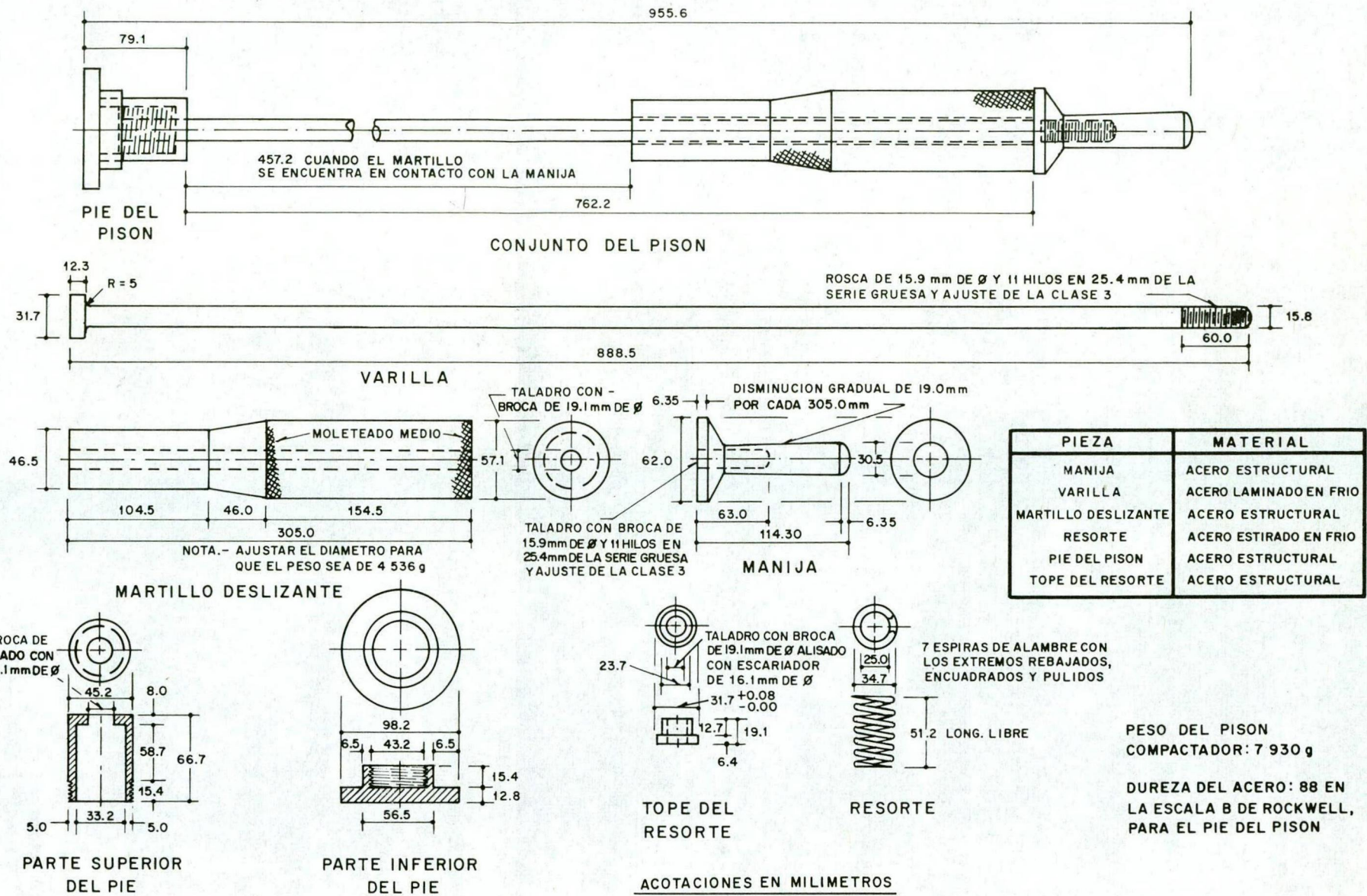


FIGURA NUM.- 83 PISON DE COMPACTACIÓN MARSHALL

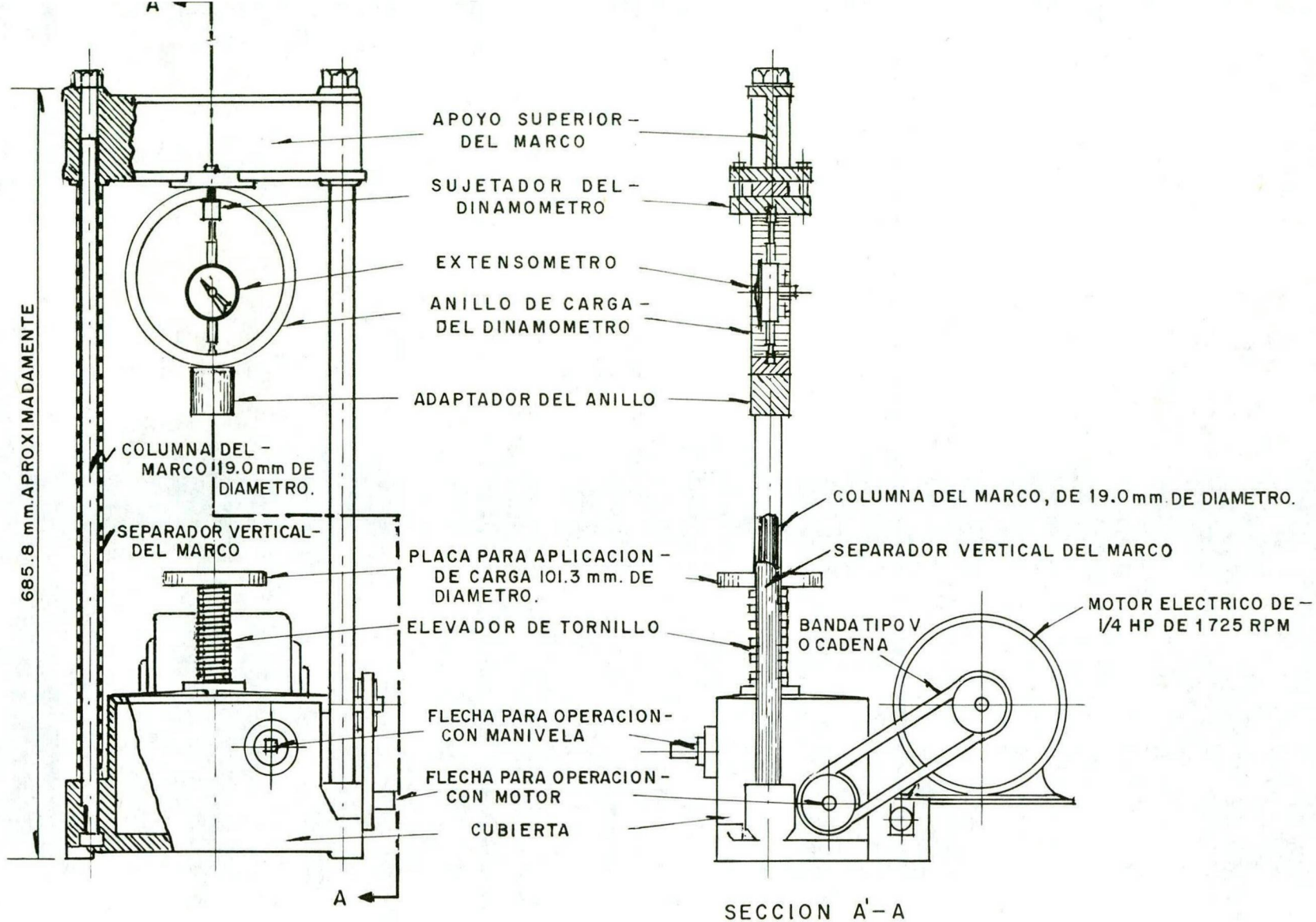
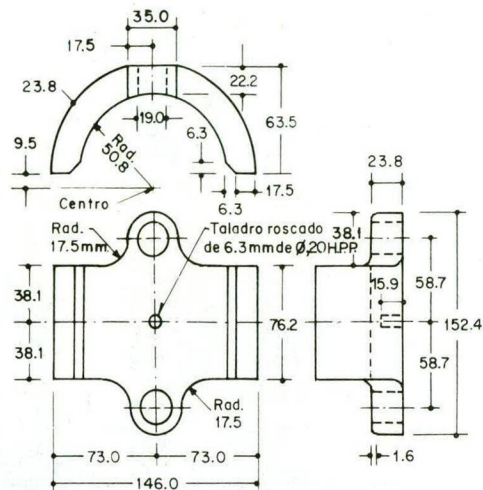
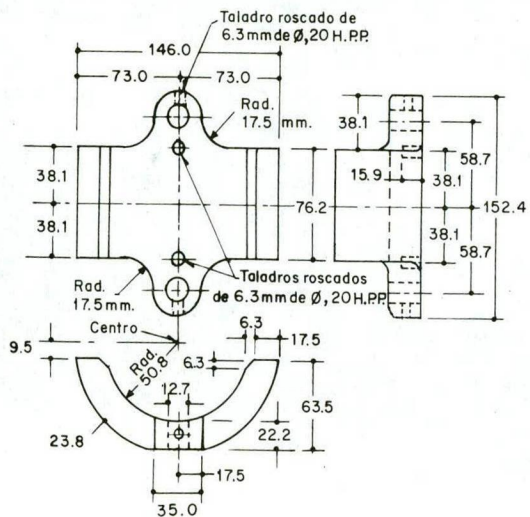


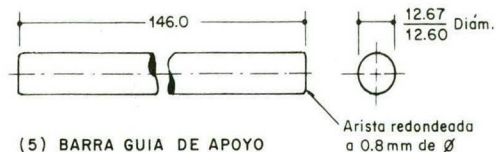
FIGURA NUM. 84.-ESQUEMA DE LA MAQUINA DE PRUEBAS MARSHALL



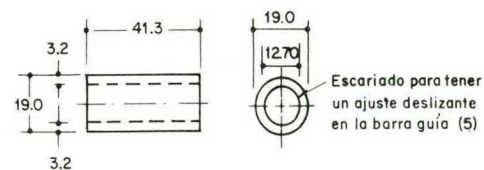
(1) SECCION SUPERIOR DEL CABEZAL



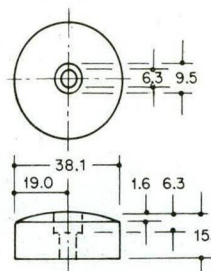
(2) SECCION INFERIOR DEL CABEZAL



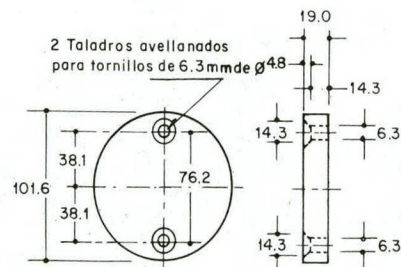
(5) BARRA GUIA DE APOYO



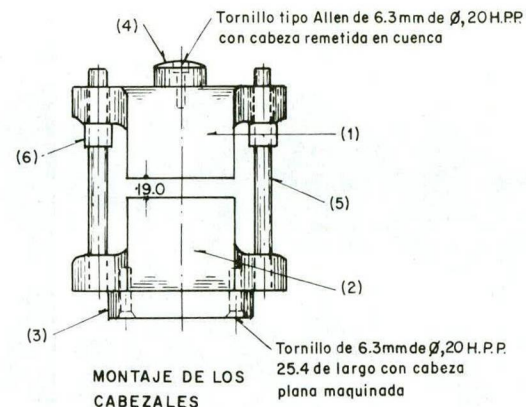
(6) CASQUILLO DE SUJECION A LA BARRA GUIA



(4) ADAPTADOR DEL CABEZAL



(3) BASE DEL CABEZAL



ACOTACIONES EN MILIMETROS
H. P. P. = HILOS POR PULGADA.

FIGURA NUM. 85.- CABEZAL PARA PROBAR LOS ESPECIMENES MARSHALL

Baño de agua o tanque de saturación con control termostático que mantenga una temperatura entre veinte y ochenta grados centígrados (20-80°C), con aproximación de cero punto cinco grados centígrados (0.5°C), profundidad mínima de ciento cincuenta (150) milímetros, falso fondo perforado y dimensiones mínimas aproximadas de cuarenta y dos (42) por treinta y dos (32) por dieciocho (18) centímetros.

Acondicionador ambiental para mantener la temperatura de las muestras de prueba a veinticinco más menos un grado centígrado ($25 \pm 1^\circ\text{C}$).

Horno con temperatura controlable hasta de doscientos grados centígrados (200°C) y aproximación de un grado centígrado (1°C), con tiro forzado de aire y dimensiones adecuadas para contener las charolas con las muestras de materiales.

Parrilla eléctrica con capacidad para calentar las muestras de agregados hasta ciento cincuenta grados centígrados (150°C), con control termostático.

Balanza de dos (2) kilogramos de capacidad y cero punto un (0.1) gramo de sensibilidad.

Balanza de veinte (20) kilogramos de capacidad y sensibilidad de un (1) gramo.

Termómetro con cubierta de metal para registrar temperaturas de diez a doscientos grados centígrados (10 a 200°C), con aproximación de dos grados centígrados (2°C).

Termómetro para el baño de agua que registre temperaturas de veinte a setenta grados centígrados (20 a 70°C) y aproximación de cero punto dos grados centígrados (0.2°C).

Calibrador tipo máuser, con aproximación de cero punto un (0.1) milímetro.

Equipo de uso general como charolas rectangulares, charolas redondas, cucharas de albañil, cucharones, espátulas, pinzas para vasos, guantes de hule y guantes de asbesto.

Estearato de zinc, parafina, crayones.

Papel filtro de forma circular con diámetro ligeramente menor que el del molde de compactación.

b) El procedimiento de prueba es el siguiente:

b1) Previamente a la preparación de las mezclas se determina el peso específico relativo aparente por inmersión en cemento asfáltico, del material pétreo seleccionado, siguiendo el procedimiento descrito en el inciso (010-F.02); así también, el del cemento asfáltico de acuerdo con lo indicado en el inciso (011-C.02) de este Libro 6; este último valor será corregido mediante las correspondientes gráficas peso específico-residuo asfáltico, tanto en el caso de rebajados como en el de emulsiones, para determinar el peso específico del residuo tomando en cuenta los solventes y agua que contenga el producto bajo las condiciones de compactación.

b2) Se determinan las temperaturas de mezclado de cada material y la de compactación de la mezcla, de acuerdo con lo siguiente:

b2.a) El cemento asfáltico o los rebajados se calentarán a una temperatura adecuada para obtener una viscosidad Saybolt Furol de ochenta y cinco más menos diez (85 ± 10) segundos; a esta temperatura se le designa como temperatura de mezclado de los materiales y se precisará de la gráfica viscosidad-temperatura, previamente determinada al material asfáltico que se utilice. Cuando se empleen emulsiones, éstas no deberán calentarse.

b2.b) El material pétreo se calentará a la temperatura de mezclado más diez grados centígrados ($+10^{\circ}\text{C}$). Cuando se utilicen emulsiones el material pétreo no se calentará y en cambio se le adicionará una humedad similar a la de absorción, de tal manera que se obtenga el mejor cubrimiento; esta humedad se precisará aplicando el procedimiento que se describe en el inciso (012-C.04) de este Capítulo y será la misma que la utilizada para elaborar en la obra la mezcla con emulsión.

b2.c) La temperatura de compactación de la mezcla es aquélla a la cual el material asfáltico, bajo las condiciones en que se encuentra al terminar el mezclado, es decir, incluyendo solventes y agua si los tiene, alcanza una viscosidad Saybolt Furol de ciento cuarenta más menos quince (140 ± 15) segundos; esta temperatura también se puede determinar

de la gráfica viscosidad-temperatura del asfalto o producto utilizado, bajo las condiciones referidas.

b3) La preparación de las mezclas de prueba para fines de diseño se lleva a cabo siguiendo el procedimiento que se describe en el subpárrafo b1) párrafo b) del inciso (012-C.04), con la cantidad necesaria de material pétreo para que el espécimen tenga una altura aproximada de sesenta y tres punto cinco (63.5) milímetros; mil cien (1,100) gramos de material pétreo generalmente pueden resultar adecuados. Las proporciones de cemento asfáltico que se deben utilizar para elaborar estas mezclas se definen con base al contenido óptimo aproximado, determinado mediante la aplicación del procedimiento que se describe en el párrafo b) del inciso (012-C.03) de este Capítulo y de acuerdo con lo siguiente:

b3.a) Las mezclas se prepararán por triplicado, cada una para elaborar un espécimen, con los siguientes contenidos de cemento asfáltico:

Contenido óptimo aproximado, menos uno punto cero por ciento (-1.0%).

Contenido óptimo aproximado, menos cero punto cinco por ciento (-0.5%).

Contenido óptimo aproximado,

Contenido óptimo aproximado, más cero punto cinco por ciento (+0.5%).

Contenido óptimo aproximado, más uno punto cero por ciento (+1.0%).

Contenido óptimo aproximado, más uno punto cinco por ciento (+1.5%).

Contenido óptimo aproximado, más dos punto cero por ciento (+2.0%).

Al terminar la operación de mezclado se tendrá en la mezcla la temperatura de compactación determinada en el subpárrafo b2) de este párrafo, pudiendo, para lograrlo, aplicar calor durante el mezclado y además, en el caso de rebajados, se tendrá una relación solvente a cemento asfáltico (K) de cero punto cero ocho (0.08) para rebajados de fraguado rápido y de cero punto doce (0.12) para rebajados de fraguado medio. Cuando se trate de mezclas elaboradas con emulsiones, se mezclarán lo suficiente para homogeneizarlas, verificando frecuentemente el peso de la mezcla, a fin de lograr que por decantación y evaporación sucesiva se elimine el ochenta por ciento (80%), aproximadamente, del agua y solventes que originalmente tenía la emulsión agregada; la humedad que conserve la mezcla será cercana a la óptima de compactación y se precisará elaborando la respectiva curva peso volumétrico de la mezcla-humedad.

b4) Se limpian la placa de compactación del pisón y los moldes de compactación y junto con el collarín, la espátula y placa de base respectivos, se calientan a noventa grados

centígrados (90°C), utilizando para ello un recipiente con agua calentada a dicha temperatura.

b5) Se prepara una de las mezclas de prueba de uno de los contenidos de asfalto seleccionados, siguiendo el procedimiento descrito en el subpárrafo b3) de este párrafo y estando a la temperatura de compactación indicada en el subpárrafo b2) de este párrafo, se saca del baño o recipiente con agua a noventa grados centígrados (90°C), un molde con su collarín y base, se secan rápidamente y se arman sobre una mesa, poniendo en el fondo una de las hojas de papel filtro circular. Se vacía dentro del molde la mezcla asfáltica elaborada y se acomoda con la espátula, previamente calentada, introduciéndola quince (15) veces en la parte cercana al contacto de la mezcla con el molde, y diez (10) veces en la porción central de la misma, para acomodarla sin que se clasifique; por último, se acomoda la parte superior del espécimen procurando dejarle la superficie ligeramente abombada, sobre la cual se coloca otra de las hojas de papel filtro circular.

b6) A continuación se coloca el molde con su base y collarín montados, conteniendo la mezcla de prueba, sobre el pedestal de compactación y se ajusta el dispositivo de éste que sostiene el molde; se aplican con la pesa deslizante del pisón de compactación cincuenta (50) golpes, o bien, setenta y cinco (75) golpes, dependiendo de lo que especi-

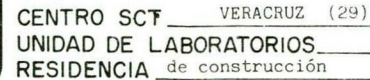
fique el proyecto para el tipo de tránsito considerado. La altura de caída de la pesa será de cuatrocientos cincuenta y siete (457) milímetros, debiendo mantenerse el eje del pisón en posición normal a la base del molde.

- b7) Una vez aplicado el número de golpes de compactación establecido, se libera el molde de la sujeción y se remueve el collarín; se invierte el molde conteniendo el espécimen y se ajusta sobre la placa de base, se vuelven a colocar el collarín y el dispositivo que sostiene el molde y en seguida se aplica en la otra cara del espécimen el mismo número de golpes que en la cara primeramente mencionada.
- b8) Se determina con el calibrador la altura del espécimen dentro del molde, y se anota ésta en milímetros en la columna "t" de la hoja de registro, Figura Núm. 86. Si dicha altura no es sesenta y tres más menos tres (63 ± 3) milímetros, la cantidad de mezcla empleada en la elaboración del siguiente espécimen deberá corregirse aplicando la siguiente fórmula:

$$P'_e = \frac{63 P_e}{H_e}$$

En donde:

P'_e es el peso corregido de la mezcla, para elaborar uno de los nuevos especímenes, en gramos.



DIRECCION GRAL. _____
DEPARTAMENTO _____
LABORATORIO DE CAMPO _____

DESCRIPCION DE LA MUESTRA	Roca triturada	ESTUDIO POR EFECTUAR	Proyecto de mezcla asfáltica	ENSAYES Nos.	4312	FECHA DE INICIACION	15 de junio de 1987
PROCEDENCIA	Carretera La Tinaja-Sayula, Tramo Ciudad Alemán-Loma Linda.			FECHA DE TERMINACION	6 de Julio de 1987.	LABORATORISTA	J. Pérez

ENSAYE	PROBETA		PORCENTAJE C.A. VERIFICADO (*)		P E S O S			V O L U M E N E S			PESO VOLUMETRICO	PESO ESPECIFICO	PROPORCIONES EN VOLUMEN			PORCENTAJE DE VACIOS		DETERMINACION DE LA ESTABILIDAD						FLUJO	DATOS COMPLEMENTARIOS
	NUM.	C.A. %	AL AGREGADO	A LA MEZCLA	RECUBIERTO EN AIRE, g.	SIN RECUBRIR EN AIRE, g.	RECUBIERTO SUMERGIDO EN AGUA, g.	MATERIAL DE RECUBRIMIENTO, g.	ESPECIMEN RECUBIERTO cm ³	MATERIAL DE RECUBRIMIENTO, cm ³	ESPECIMEN cm ³	Kg / m ³	TEORICO MAXIMO g/cm ³	CEMENTO ASFALTICO %	MATERIAL PETREO %	VACIOS %	MATERIAL PETREO V.A.M. C. A.	LLENADOS POR EL C. A.	LECTURA MICROMETRIC m.m.	ALTURA ESPECIMEN cm.	ESTABILIDAD SIN CORR. Kg.	FACTOR DE CORRECCION POR ALTURA	ESTABILIDAD CORREGIDA Kg.	mm.	
								c - d	c - e	F/Y _p	g - h	d/i(1000)	(**)	bxj/Y _c .A.	(100-b)j/sp	100-l-m	100-m	(l/p)100			S _{xr} (***)		(u) (v)		
	1	6.0	5.8	5.48	1274.7	1263.2	728.4	11.5	546.3	11.9	534.4	2365	2.550	12.5	80.3	7.2	19.7	63.5	336	6.62	1562	0.94	1468	3.81	PESO ESPECIFICO DEL CEMENTO ASFALTICO Y _c .A. = 1.040
	2	6.0	5.8	5.48	1274.0	1261.2	729.7	12.8	544.3	13.3	531.0	2375	2.550	12.5	80.6	6.9	19.4	64.4	334	6.58	1553	0.95	1475	3.81	
	3	6.0	5.9	5.57	1275.2	1265.4	728.3	9.8	546.9	10.2	536.7	2360	2.546	12.6	80.0	7.4	20.0	63.0	331	6.51	1540	0.97	1494	3.75	
			(5.8)									(2367)				(7.2)	(19.7)						(1470)	(3.78)	PESO ESPECIFICO DEL MATERIAL PETREO S _p = 2.784
	4	6.5	6.3	5.93	1279.7	1266.6	735.6	13.1	544.1	13.6	530.5	2389	2.532	13.6	80.7	5.7	19.3	70.5	346	6.12	1609	1.06	1706	11.43	
	5	6.5	6.4	6.02	1276.9	1266.8	737.4	10.1	539.5	10.5	529.0	2393	2.529	13.9	80.7	5.4	19.3	72.0	364	6.48	1692	0.97	1641	3.81	
	6	6.5	6.4	6.02	1287.3	1275.3	739.5	12.0	547.8	12.5	535.3	2385	2.529	13.8	80.5	5.7	19.5	70.8	355	6.35	1652	1.00	1652	3.87	MATERIAL DE RECUBRIMIENTO Y _p = 0.961 g/cm ³
			(6.4)									(2389)				(5.6)	(19.4)						(1666)	(6.37)	
	7	7.0	6.8	6.37	1282.7	1271.5	750.3	11.2	532.4	11.6	520.8	2440	2.515	14.9	82.1	3.0	17.9	83.2	384	6.44	1786	0.98	1750	4.06	
	8	7.0	6.8	6.37	1279.9	1266.5	743.0	13.4	536.9	13.9	522.4	2425	2.515	14.9	81.6	3.5	18.4	81.0	394	6.53	1832	0.96	1759	4.32	(*) PORCENTAJE-DE CEMENTO ASFALTICO EN PESO
	9	7.0	6.7	6.28	1269.9	1260.3	741.4	9.6	528.5	9.9	518.6	2432	2.519	15.7	82.2	2.1	17.8	88.2	387	6.42	1798	0.98	1762	4.21	
			(6.8)									(2432)				(2.9)	(18.0)						(1757)	(4.20)	
	10	7.5	7.3	6.80	1283.7	1271.9	750.8	11.8	532.9	12.3	520.6	2440	2.499	16.0	81.7	2.3	18.3	87.4	326	6.49	1516	0.97	1470	4.06	(**) PESO ESPECIFICO TEORICO MAXIMO 100
	11	7.5	7.2	6.72	1278.8	1268.1	748.6	10.7	530.2	11.1	519.1	2443	2.502	15.8	81.9	2.3	18.1	87.3	370	6.45	1720	0.98	1686	4.06	
	12	7.5	7.2	6.72	1277.2	1265.1	714.4	12.1	562.8	12.6	550.2	2300	2.502	14.9	77.1	8.0	22.9	65.1	348	6.40	1620	0.99	1604	4.11	
			(7.2)									(2394)				(4.2)	(19.8)						(1587)	(4.08)	(***) r= CONSTANTE DEL ANILLO.
	13	8.0	7.7	7.15	1394.4	1283.7	854.7	10.7	539.7	11.1	528.6	2430	2.486	16.7	81.1	2.1	18.9	88.4	367	6.56	1706	0.96	1638	4.32	
	14	8.0	7.7	7.15	1282.1	1273.2	749.4	9.9	532.7	10.3	522.4	2437	2.486	16.8	81.3	1.9	18.7	89.8	324	6.48	1506	0.97	1461	4.57	
	15	8.0	7.6	7.06	1282.9	1270.5	746.0	12.4	536.9	12.9	524.0	2425	2.489	16.5	81.0	2.5	19.0	86.8	342	6.46	1590	0.98	1558	4.41	MAXIMO 100 % C.A. + 2M P. % C.A. + 2M P.
			(7.7)									(2431)				(2.2)	(18.9)						(1552)	(4.43)	
								RESULTADOS POR GRUPOS DE PROBETAS, CON LAS CORRECCIONES RESPECTIVAS																	(***) r= CONSTANTE DEL ANILLO.
	1a3	(5.8)										(2367)				(7.2)	(19.7)						(1470)	(3.78)	
	4a6	(6.4)										(2389)				(5.6)	(19.4)						(1646)	(3.84)	
	7a9	(6.8)										(2432)				(2.9)	(18.0)						(1757)	(4.20)	(***) r= CONSTANTE DEL ANILLO.
	10a12	(7.2)										(2442)				(2.3)	(18.2)						(1587)	(4.08)	
	13a15	(7.7)										(2431)				(2.2)	(18.9)						(1552)	(4.43)	

FIGURA NUM 86.- HOJA DE REGISTRO Y CALCULO PARA LA PRUEBA DE MARSHALL.

P_e es el peso del espécimen elaborado, en gramos.

H_e es la altura del espécimen elaborado, en milímetros.

- b9) Se separan del molde que contiene el espécimen, la placa de base y su collarín y se deja enfriar dicho espécimen en el molde, el tiempo necesario para que al ser extraído no sufra deformaciones, para lo cual se introduce en caso necesario, durante una hora, en un baño de aire o ambiente con aire acondicionado a veinticinco grados centígrados (25°C); a continuación, utilizando el extractor de especímenes, se saca cuidadosamente el espécimen del molde y se le coloca sobre una superficie plana y horizontal, en donde permanecerá en reposo a la temperatura ambiente, antes de ser probado, durante veinticuatro (24) horas aproximadamente, contadas a partir de su elaboración.
- b10) Se moldean sucesivamente cada uno de los especímenes restantes del contenido de asfalto con que se inició la prueba, siguiendo los pasos descritos en los subpárrafos b5) a b9) de este párrafo y después, en la misma forma, los demás especímenes de cada uno de los contenidos de asfalto considerados en el estudio.
- b11) Transcurrido el período de enfriamiento, se determina el peso volumétrico de cada uno de los especímenes de prueba, utilizando el método de la parafina que se describe en el

inciso (012-E.06) de este Capítulo. Los datos obtenidos se anotan en la hoja de registro, Figura Núm. 86.

b12) A continuación se sumergen todos los especímenes en el baño de agua, a una temperatura de sesenta más menos un grado centígrado ($60 \pm 1^{\circ}\text{C}$) durante un lapso de treinta a cuarenta y dos (30 a 42) minutos, excepto en el caso de mezclas elaboradas con asfaltos rebajados o emulsiones, en que los especímenes, antes de ser probados, se colocan en un ambiente con aire a la temperatura de veinticinco más menos un grado centígrado ($25 \pm 1^{\circ}\text{C}$), permaneciendo en estas condiciones durante dos horas. La determinación de la estabilidad y flujo se iniciará a los treinta (30) minutos de inmersión, para lo cual se van extrayendo sucesivamente los especímenes del baño, debiendo sacar y probar el último a los cuarenta y dos (42) minutos, de haber sido introducido en el baño.

b13) Se lubrican las guías de los cabezales de prueba, se limpian sus superficies interiores y se mantienen éstos a una temperatura de treinta y cinco más menos tres grados centígrados ($35 \pm 3^{\circ}\text{C}$), en el caso de mezclas con cemento asfáltico y de veinticinco más menos tres grados centígrados ($25 \pm 3^{\circ}\text{C}$), en el caso de mezclas con rebajados o emulsiones. Se verifica que el extensómetro del anillo de carga instalado en la máquina de compresión marque cero (0) cuando no se esté aplicando carga.

b14) Se saca un espécimen del baño de agua o del acondicionador de ambiente y se le elimina la humedad superficial que presente, se coloca sobre el cabezal inferior y se centra en el mismo; se monta y coloca sobre el espécimen el cabezal superior y en esta forma se lleva el conjunto a la máquina de compresión, en donde se coloca y se centra. Se instala sobre la varilla guía el extensómetro para medir el flujo, se ajusta a cero (0) su carátula y durante la aplicación de la carga se sujeta por el casquillo, oprimiéndolo contra el cabezal.

b15) Se aplica carga al espécimen a una velocidad de deformación constante, de cincuenta punto ocho (50.8) milímetros por minuto, hasta que se presenta la carga máxima o sea la necesaria para producir la falla del espécimen a la temperatura de prueba; dicha carga es el valor de estabilidad Marshall y se anotará en kilogramos en la columna "u" de la hoja de registro, Figura núm. 86. Como antes se indicó, mientras la carga se esté aplicando se sostiene firmemente el extensómetro medidor de flujo sobre la varilla guía y al presentarse la carga máxima se toma la lectura correspondiente y se registra con aproximación de cero punto un (0.1) milímetro. La deformación del espécimen en milímetros es el valor del flujo, el cual se anota en la columna "y" de la hoja de registro. Todo el procedimiento para efectuar las pruebas de estabilidad y flujo del espécimen deberá completarse en un período de treinta (30) segundos contados a partir del momento en que el espécimen se retire del baño.

- b16) Se determinan sucesivamente la estabilidad y flujo de cada uno de los especímenes restantes del contenido de asfalto con que se inició la prueba, siguiendo para ello los pasos descritos en los subpárrafos b13) a b15) de este párrafo, después de lo cual, aplicando este mismo procedimiento, se determinan los valores correspondientes a los especímenes de cada uno de los demás contenidos de asfalto considerados en el estudio.
- b17) Se verifica en forma sucesiva en cada espécimen del estudio el porcentaje de asfalto que realmente contiene, seleccionando para ello uno de los procedimientos que se describen en la cláusula (012-I) de este Capítulo o bien, de no requerirse mucha precisión, se restará cero punto tres por ciento (0.3%) a cada uno de los contenidos de asfalto considerados al elaborar las mezclas, para corregir dichos contenidos por pérdidas durante el mezclado. Los contenidos de cemento asfáltico así corregidos se anotan en la columna "a" de la hoja de registro.
- c) La determinación de la influencia del agua en la estabilidad y flujo de las mezclas elaboradas con cementos asfálticos quedó incluida como parte del procedimiento de diseño correspondiente y por lo que se refiere a las mezclas elaboradas con asfaltos rebajados o con emulsiones, la metodología correspondiente se describe a continuación:
- c1) Se elaboran seis (6) especímenes de prueba con el contenido óptimo de asfalto o con la

proporción de este material que se estime necesario estudiar, para lo cual se sigue el procedimiento que corresponda de los que se indican en los subpárrafos b2) a b9) párrafo b) de este inciso, excepto en lo que se refiere al número de muestras y a los diferentes contenidos de asfalto que son los que se fijan de acuerdo con lo indicado en este subpárrafo.

c2) Transcurrido el período de reposo se determina el peso volumétrico de cada uno de los especímenes de prueba, utilizando el método de la parafina que se indica en el inciso (012-E.06) de este Capítulo y se forman dos (2) grupos de tres (3) especímenes cada uno (1), de tal manera que los promedios de los pesos volumétricos de los especímenes de cada grupo, queden lo más cercano posible del promedio general.

c3) Los especímenes de uno (1) de los grupos se colocan durante dos (2) horas en el baño de aire ajustado a una temperatura de veinticinco más menos un grado centígrado ($25 \pm 1^{\circ}\text{C}$) y a continuación se les determina la estabilidad y flujo a cada uno de ellos, siguiendo, de acuerdo con el tipo de mezcla asfáltica, el procedimiento que se indica en los subpárrafos b13) a b16) párrafo b) de este inciso y se les determina también el contenido de asfalto, de acuerdo con alguno de los procedimientos que se describen en la Cláusula (012-I) de este Capítulo.

c4) Los especímenes del otro grupo se sumergen durante cuatro (4) días en el baño de agua, a una temperatura de veinticinco más menos un grado centígrado ($25 \pm 1^{\circ}\text{C}$) y al cumplirse dicho período, se les determina su estabilidad, flujo y contenido de asfalto, de acuerdo con lo que se indica en los subpárrafos b13) a b17) párrafo b) de este inciso, y con el tipo de mezcla asfáltica.

d) En esta prueba se calcula y reporta lo siguiente:

d1) Se determina el peso específico teórico máximo de cada una de las mezclas asfálticas consideradas en el estudio, de acuerdo con lo que se indica en el inciso (012-E.01) y los datos obtenidos se anotan en la columna "k" de la hoja de registro, Figura Núm. 86.

d2) Se calcula el porcentaje de vacíos del material pétreo, VAM, de cada uno de los especímenes elaborados de acuerdo con lo que se describe en el inciso (012-E.01) y los datos obtenidos se anotan en la columna "p" de la hoja de registro, Figura Núm. 86.

d3) Se calcula el porcentaje de vacíos de la mezcla compactada, que forma cada uno de los especímenes, siguiendo el procedimiento que se describe en el inciso (012-E.01), y los datos obtenidos se anotan en la columna "n" de la hoja de registro, Figura Núm. 86.

d4) Se corrigen los valores de estabilidad de los especímenes que hayan resultado con altura diferente de sesenta y tres punto cinco

(63.5) milímetros, utilizando para ello los factores que correspondan de la Tabla XVI y los datos corregidos se anotan en la columna "w" de la hoja de registro, Figura Núm. 86.

- d5) Se calcula y reporta el por ciento de estabilidad retenida por la mezcla asfáltica, es decir, la que conserva después de someterla a saturación en agua a veinticinco grados centígrados (25°C), mediante la siguiente fórmula:

$$E_r = \frac{E_p - E_{ps}}{E_p} 100$$

En donde:

E_r es la estabilidad retenida por la mezcla asfáltica, en por ciento.

E_p es el promedio de los valores de estabilidad de los especímenes no sumergidos en agua, en kilogramos.

E_{ps} es el promedio de los valores de estabilidad de los especímenes sumergidos en agua, en kilogramos.

- d6) Se determina para cada serie de especímenes correspondiente a un mismo porcentaje, la proporción de asfalto que contiene, el peso volumétrico, el porcentaje de vacíos del material pétreo, porcentaje de vacíos de la mezcla compactada, estabilidad y flujo, y se desechan los datos de aquellos

**TABLA XVI FACTORES DE CORRECCION PARA LOS
VALORES DE ESTABILIDAD MARSHALL**

Altura aproximada del espécimen, en milímetros	Factor de corrección
50	1.51
51	1.46
52	1.41
53	1.36
54	1.32
55	1.27
56	1.23
57	1.20
58	1.16
59	1.13
60	1.10
61	1.07
62	1.04
63	1.01
64	0.99
65	0.96
66	0.94
67	0.91
68	0.89
69	0.87
70	0.85

NOTA: Multiplicando la estabilidad medida en un espécimen por el factor de corrección, se obtiene la estabilidad corregida para un espécimen de 63.5 milímetros de altura.

especímenes que no cumplan con las siguientes tolerancias, respecto de los promedios correspondientes de cada serie:

Más menos cinco por ciento ($\pm 5\%$) del contenido de asfalto.

Más menos dos por ciento ($\pm 2\%$) del peso volumétrico.

Más menos diez por ciento ($\pm 10\%$) de la estabilidad.

Más menos veinte por ciento ($\pm 20\%$) del flujo.

- d7) Utilizando los promedios de los valores que no excedan las tolerancias indicadas en el subpárrafo d6) anterior, se dibujan las gráficas que a continuación se indican, en formas como las de la Figura Núm. 87.

Peso volumétrico-Proporción de asfalto.

Por ciento de vacíos de la mezcla-Proporción de asfalto.

Por ciento de vacíos del material pétreo-Proporción de asfalto.

Estabilidad-Proporción de asfalto.

Flujo-Proporción de asfalto.

- d8) De cada gráfica se define cuál es el contenido de asfalto que mejor satisface los requisitos de proyecto para cada una de las características que se graficaron y se promedian dichos contenidos.

- d9) Se define el contenido óptimo de asfalto ajustando el promedio determinado como se indicó en el subpárrafo d8) anterior, de tal forma que se cumplan con todos los requisi-

NORMAS PARA MUESTREO Y PRUEBAS DE LOS MATERIALES, EQUIPOS Y SISTEMAS

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES		
DEPENDENCIA <u>D.G.C.F.</u>		
CENTRO S.C.T. <u>VERACRUZ</u>	☐ UNIDAD DE LABORATORIOS RESIDENCIA <u>CIUDAD ALEMAN, VER.</u>	
PRUEBA MARSHALL		
OBRA <u>TRAMO CD. ALEMÁN-LOMA BONITA</u>		ENSAYE N° <u>4312</u>
LOCALIZACION <u>CARRETERA LA TIJAJA-SAYULA</u> (CIUDAD, CAMINO, TRAMO, KILOMETRO, ORIGEN DEL CADENAMIENTO, ETC.)		FECHA DE RECIBO <u>15-VI-87</u>
		FECHA DE INFORME <u>3-VII-87</u>
MATERIAL PARA CAPA DE <u>CARPETA</u>		
UBICACION DE LA PLANTA <u>Km 18+300</u>		
OBJETO DEL ENSAYE	ESTUDIO (X)	REVISION ()

GRÁFICA 1: PESO VOLUMETRICO (kg/m³) vs. % C.A. EN PESO RESPECTO AL AGREGADO

% C.A. EN PESO RESPECTO AL AGREGADO	PESO VOLUMETRICO (kg/m³)
5.8	2370
6.2	2390
6.8	2440
7.0	2450
7.2	2440
7.5	2430
7.8	2420

GRÁFICA 2: ESTABILIDAD (kg) vs. % C.A. EN PESO RESPECTO AL AGREGADO

% C.A. EN PESO RESPECTO AL AGREGADO	ESTABILIDAD (kg)
5.8	1450
6.2	1550
6.8	1700
7.0	1750
7.2	1600
7.5	1550
7.8	1450

GRÁFICA 3: % DE VACIOS vs. % C.A. EN PESO RESPECTO AL AGREGADO

% C.A. EN PESO RESPECTO AL AGREGADO	% DE VACIOS
5.8	7.2
6.2	5.8
6.8	3.5
7.0	2.8
7.2	2.5
7.5	2.5
7.8	2.5

GRÁFICA 4: % DE V.A.M. vs. % C.A. EN PESO RESPECTO AL AGREGADO

% C.A. EN PESO RESPECTO AL AGREGADO	% DE V.A.M.
5.8	19.8
6.2	19.2
6.8	18.5
7.0	18.2
7.2	18.2
7.5	18.5
7.8	19.0

CARACTERISTICAS	DATOS OBTENIDOS	NORMAS
CONTENIDO OPTIMO DE C.A. (%)	<u>6.7</u>	
PESO VOLUMETRICO (kg/m³)	<u>2430</u>	
VACIOS (%)	<u>3.5</u>	<u>3-5</u>
V.A.M. (%)	<u>18.2</u>	<u>14 min.</u>
ESTABILIDAD (kg)	<u>1730</u>	<u>700 min</u>
FLUJO (mm)	<u>4.0</u>	<u>2-4</u>

ESPECIMEN COMPACTADO CON 75
GOLPES DEL PISON POR CARA A LA TEMPERATURA
DE 140 °C

EL LABORATORISTA

EL JEFE DEL LABORATORIO

Vo. Bo.

**FIGURA NUM.- 87 GRAFICAS Y RESULTADOS DE
LA PRUEBA DE MARSHALL.**

tos del proyecto, incluyendo el de estabilidad retenida por inmersión en agua a veinticinco grados centígrados (25°C); la estabilidad retenida no se ilustra gráficamente.

e) En esta prueba deberán tenerse las siguientes precauciones:

e1) Que en todos los pasos de la prueba las temperaturas se ajusten a los valores establecidos.

e2) Verificar que la superficie cilíndrica interior de los cabezales de prueba o "mordazas" corresponda a un radio de cincuenta punto ocho (50.8) milímetros.

012-D.06 En este inciso se describe el procedimiento basado en el método de Hveem, para el proyecto y verificación de mezclas elaboradas, utilizando materiales pétreos con tamaño máximo de veinticinco (25) milímetros y cemento asfáltico en caliente, rebajados o emulsiones asfálticas que satisfagan los requisitos establecidos en los Capítulos (010 y 011) respectivamente, del Libro 4 de estas Normas. Este método consiste fundamentalmente en preparar dos (2) series de especímenes con variaciones similares en sus contenidos de material asfáltico, utilizando el compactador de Hveem, que somete a la muestra a ciertas presiones repetidas, aplicadas en forma gradual mediante un pisón; a los especímenes de una serie se les determina su resistencia a la desintegración, alteración volumétrica y permeabilidad, mediante la prueba de expansión; a los de la serie restante se les determina su resistencia a la deformación lateral, aplicándole a cada uno carga vertical en una celda de tipo triaxial o estabilómetro, bajo condiciones previas de humedad, vapor de agua y temperatura, seleccionadas para el

estudio; así también, se les determina su peso volumétrico y su resistencia a la tensión mediante el cohesiómetro de Liveem. Con los resultados obtenidos se hace un análisis gráfico para seleccionar la proporción óptima de cemento asfáltico que permita las mejores características de la mezcla. Para llevar a cabo el proyecto o revisión de los diferentes tipos de las mezclas asfálticas mencionadas, se realizarán los siguientes pasos: preparación de las muestras y elaboración de los especímenes, determinación de sus características volumétricas, prueba del estabilómetro, prueba del cohesiómetro, prueba de expansión y permeabilidad y, en algunos casos, susceptibilidad al humedecimiento por vapor de agua.

a) Para la preparación de las muestras y elaboración de los especímenes de prueba, se procederá de acuerdo con lo indicado a continuación:

a1) El equipo y materiales necesarios son los siguientes:

Horno con termostato para secado y calentamiento de materiales, que mantenga temperaturas hasta de ciento sesenta y cinco grados centígrados (165°C) y aproximación de tres grados centígrados (3°C).

Horno con termostato para preparación y curado de mezclas, que mantenga una temperatura uniforme de sesenta más menos tres grados centígrados ($60 \pm 3^{\circ}\text{C}$).

Balanza con capacidad de veinte (20) kilogramos y un (1) gramo de aproximación.

Balanza con capacidad mínima de quinientos (500) gramos y cero punto un (0.1) gramo de aproximación.

Recipientes metálicos con tapa hermética, de tres (3) litros de capacidad, aproximadamente.

Mallas Núms. 25.0, 19.0, 12.5, 9.5, 4.75, 2.36, 0.600, 0.300, 0.150 y 0.075.

Juego de cuarteadores metálicos para materiales pétreos, con tamaños mayores y menores que la malla Núm. 4.75.

Charolas redondas de lámina galvanizada, de veinticinco (25) centímetros de diámetro y cinco (5) centímetros de altura.

Charolas redondas de lámina galvanizada, de treinta (30) centímetros de diámetro y seis (6) centímetros de altura.

Charolas redondas de lámina galvanizada, de veinte (20) centímetros de diámetro y cuatro (4) centímetros de altura.

Charolas rectangulares de lámina galvanizada, de treinta (30) centímetros por dieciocho (18) centímetros y dos punto cinco (2.5) centímetros de altura.

Termómetro con cubierta de metal para registrar temperaturas entre diez y doscientos grados centígrados (10 y 200°C), con aproximación de dos grados centígrados (2°C).

Cucharón de lámina galvanizada.

Vaso de precipitado resistente al calor, de ochocientos (800) centímetros cúbicos de capacidad.

Placa eléctrica para calentamiento, con dimensiones mínimas de treinta (30) centímetros por cuarenta y cinco (45) centímetros, y capacidad para proporcionar temperaturas hasta de doscientos grados centígrados (200°C).

Cucharas pequeñas de albañil, para el mezclado de materiales.

Guantes de asbesto.

Mezcladora mecánica para materiales pétreos y asfálticos con tazón de mezclado de dos (2) litros de capacidad mínima, de temperatura regulable y velocidad de mezclado comprendida entre sesenta (60) y ciento veinte (120) revoluciones por minuto.

Compactador mecánico con sistema electrohráulico capaz de ejercer en la mezcla asfáltica una serie de presiones repetidas, aplicadas gradualmente mediante un pisón metálico; la forma y dimensiones de la base de éste se ilustran en la Figura Núm. 78 del Capítulo (6.01.01.002) de este Libro 6. El compactador debe estar adaptado de tal forma que pueda aplicar carga a la mezcla dentro del molde, en donde podrá alcanzar, bajo las condiciones de prueba, hasta treinta y cinco más menos uno punto siete (35 ± 1.7) kilogramos por centímetro cuadrado, provis-

to de dispositivos para controlar el tiempo de aplicación de dicha presión, el cual varía de cero punto uno a seis (0.1 a 6) segundos. El compactador deberá estar calibrado para que la curva Presión-Tiempo, que resulta durante la compactación de la mezcla, sea similar a la de la curva patrón del compactador, según el Método Núm. 90 del Estado de California, EUA, o bien, que esté provisto de controles automáticos para regular el proceso en presión y tiempo, o también que los valores de resistencia obtenidos en dicha mezcla sean equivalentes a los del mencionado compactador patrón del Estado de California. También estará provisto de un dispositivo automático para controlar el número de aplicaciones del pisón, y de una plataforma giratoria con sistema de sujeción para el molde y mecanismo, para que ésta gire durante la compactación del espécimen, de manera que en cada revolución del molde se apliquen sobre la muestra de cinco a siete (5 a 7) cargas del pisón; además, el compactador estará equipado de un dispositivo de control termostático para mantener la temperatura del pisón durante la prueba. Contará así mismo con los accesorios siguientes:

Cinco (5) moldes de ciento uno punto seis más menos cero punto uno (101.6 ± 0.1) milímetros de diámetro interior y ciento veintisiete punto cero más menos cero punto dos (127.0 ± 0.2) milímetros de altura, de metal inoxidable, de peso conocido en gramos, similares al de la Figura Núm. 80 del Capítulo (6.01.01.002) de este Libro 6.

Collarín cónico para los moldes y una canaleta para verter la mezcla al molde.

Dos (2) calzas de acero de seis (6) milímetros de espesor, veinte (20) milímetros de ancho y sesenta (60) milímetros de largo.

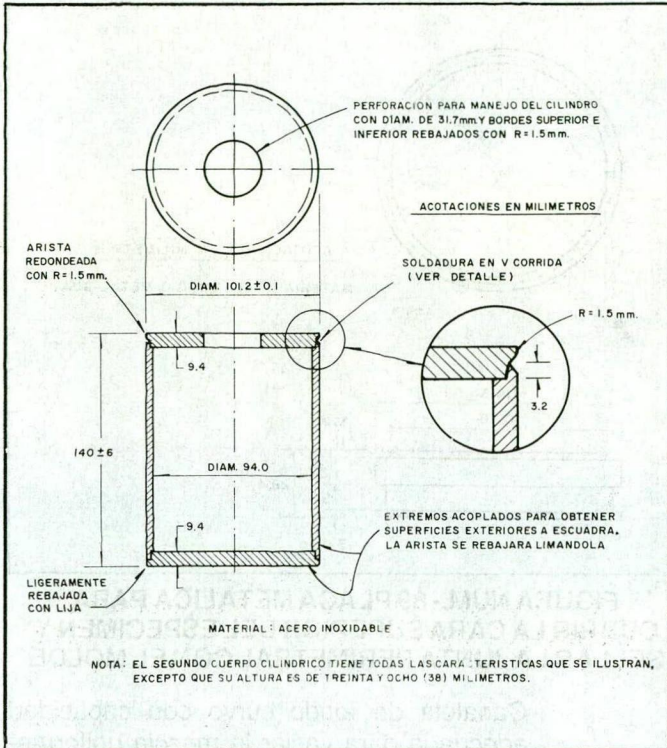
Máquina de compresión con capacidad mínima de veinticinco mil (25,000) kilogramos, y diez (10) kilogramos de aproximación, con dispositivo para controlar la velocidad de aplicación de la carga a razón de uno punto tres (1.3) milímetros por minuto.

Dos (2) cuerpos cilíndricos metálicos, para transmitir la carga y apoyar el espécimen dentro del molde, ambos con diámetro exterior de ciento uno punto dos más menos cero punto un (101.2 ± 0.1) milímetros, y alturas, el primero de ciento cuarenta más menos seis (140 ± 6) milímetros y el segundo de treinta y ocho (38) milímetros, como se ilustra en la Figura Núm. 88.

Varilla metálica de nueve punto cinco (9.5) milímetros de diámetro y cuarenta (40) centímetros de longitud, con punta de bala.

Cilindro de madera con diámetro de noventa y ocho punto cuatro (98.4) milímetros y altura de cien (100) milímetros.

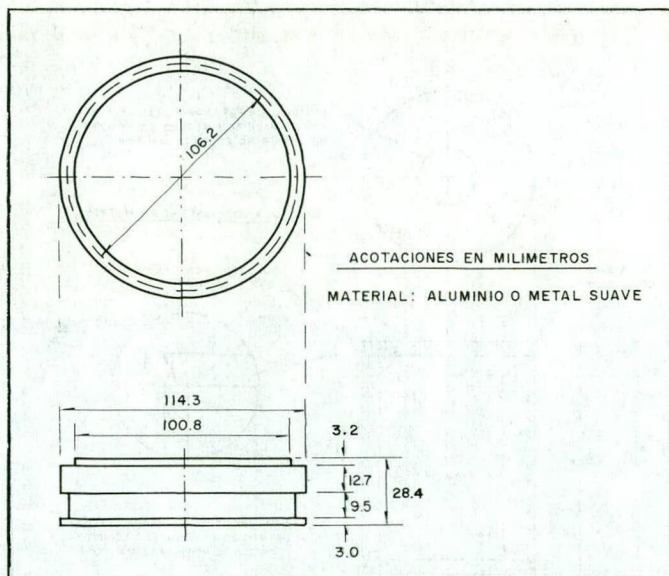
Adaptador metálico de pared delgada, para proteger la canastilla de papel, de lámina inoxidable de cero punto seis (0.6) milímetros de espesor, con las dimensiones que se



**FIGURA NUM.-88 CUERPO CILINDRICO METALICO
PARA APLICAR CARGA POR EL METODO DE
DOBLE PISTON.**

indican en la Figura Núm. 81 del Capítulo
(6.01.01.002) de este Libro 6.

Placa standard, de aluminio o metal suave,
para cubrir la cara superior del espécimen y
sellar la junta perimetral con el molde, con la
forma y dimensiones que se indican en la
Figura Núm. 89.



**FIGURA NUM.- 89 PLACA METALICA PARA
CUBRIR LA CARA SUPERIOR DEL ESPECIMEN Y
SELLAR LA JUNTA PERIMETRAL CON EL MOLDE**

Canaleta de fondo curvo con capacidad adecuada para vaciar la mezcla uniformemente en el molde.

Cuchara plana o paleta de forma adecuada a la canaleta, para vaciar la mezcla al cilindro.

Papel filtro cualitativo de cien (100) milímetros de diámetro y cero punto quince (0.15) milímetros de espesor, con superficie lisa, velocidad de filtrado medio y retención media.

Papel manila para las canastillas protectoras de los especímenes de prueba.

Cinta adhesiva de doce (12) milímetros de ancho.

Disco de papel o cartón de ciento uno punto seis (101.6) milímetros de diámetro.

Parafina.

a2) La preparación de la muestra se efectuará como sigue:

a2.a) Previamente a dicha preparación de las mezclas de prueba se determina el peso específico relativo aparente por inmersión en cemento asfáltico, del material pétreo seleccionado, siguiendo el procedimiento descrito en el inciso (010-F.02) de este Libro 6; así también, el del material asfáltico de acuerdo con lo indicado en el inciso (011-C.02) de este Libro 6; este último valor será corregido mediante las correspondientes gráficas Peso volumétrico-Residuo asfáltico, tanto en el caso de rebajados como de emulsiones, para determinar el peso específico del residuo tomando en cuenta los solventes y agua que contenga el producto bajo las condiciones de compactación.

a2.b) Se determina la temperatura de mezclado del material pétreo, del material asfáltico, de la mezcla asfáltica y la de compactación de ésta, siguiendo el procedimiento que se describe en el subpárrafo b2) párrafo b) del inciso (012-D.05) anterior.

a2.c) La preparación de las mezclas de prueba se lleva a cabo siguiendo el procedimiento que

se describe en el subpárrafo b1) párrafo b) del inciso (012-C.04), con la cantidad necesaria de material pétreo para que el espécimen tenga una altura aproximada de sesenta y tres punto cinco (63.5) milímetros; mil cien (1,100) gramos de material pétreo, generalmente pueden resultar adecuados. Las proporciones de cemento asfáltico que se deben utilizar para elaborar estas mezclas, se definen con base al contenido óptimo aproximado, determinado mediante la aplicación del procedimiento que se describe en el párrafo b) del inciso (012-C.03) y de acuerdo con lo siguiente:

Las mezclas se preparan por triplicado, cada una para elaborar un espécimen, con los siguientes contenidos de cemento asfáltico:

Contenido óptimo aproximado, menos uno punto cero por ciento (-1.0%).

Contenido óptimo aproximado, menos cero punto cinco por ciento (-0.5%).

Contenido óptimo aproximado.

Contenido óptimo aproximado, más cero punto cinco por ciento (+0.5%).

Contenido óptimo aproximado, más uno punto cero por ciento (+1.0%).

Contenido óptimo aproximado, más uno punto cinco por ciento (+1.5%).

Contenido óptimo aproximado, más dos punto cero por ciento (+2.0%).

Al terminar la operación de mezclado se tendrá en la mezcla la temperatura de compactación determinada como se indica en el sub-subpárrafo a2.b) de este subpárrafo, pudiendo ser necesario, para lograrlo, aplicar calor durante el mezclado. Tratándose de mezclas con cemento asfáltico no será necesario someterlas a un proceso de curado, pero en el caso de mezclas con rebajados se curarán en el horno a su temperatura de mezclado hasta tener una relación solventes a cemento asfáltico, "K", de cero punto cero ocho (0.08) para rebajados de fraguado rápido y de cero punto doce (0.12) para rebajados de fraguado medio. Cuando se trate de mezclas elaboradas con emulsiones, se curarán a la temperatura ambiente, homogeneizándolas suficientemente y verificando con frecuencia el peso de la mezcla, a fin de lograr que por decantación y evaporación sucesivas, se elimine el ochenta por ciento (80%) aproximadamente, del contenido de agua y solventes de la emulsión agregada; en este caso, la humedad que conserve la mezcla será la mayor que no origine exudación en el espécimen al compactarla, ni ocasione deformación excesiva bajo la acción del pisón. Al terminar la preparación de la mezcla y el proceso de curado, cuando éste sea requerido, se procederá lo antes posible a moldear los especímenes de prueba.

- a3) Se elaboran los especímenes de prueba utilizando el compactador mecánico de presiones repetidas, de acuerdo con lo siguiente:
- a3.a) Se inicia con los especímenes de prueba del estabilómetro; para ello, se calientan previamente los moldes a la temperatura de compactación de la mezcla y también mediante el termorregulador se incrementa la temperatura de la placa inferior del compactador, a fin de que sea suficientemente alta y evitar con ello que se le adhiera la mezcla. La temperatura de la placa dependerá del tipo de mezcla en estudio, siendo más alta cuando se trate de mezclas con cemento asfáltico y más baja cuando sean elaboradas con rebajados; en todos los casos se procurará que el calentamiento que se dé a la placa inferior del compactador sea únicamente el indispensable para que no se le adhiera la mezcla.
- a3.b) Se determina y anota el peso en gramos, del molde de compactación y se monta en el sujetador apoyándolo sobre las dos (2) cuñas, con objeto de que la placa de base de dicho sujetador actúe como un pistón libre durante la operación de compactación, y se coloca un disco de papel para cubrir el fondo del molde.
- a3.c) Estando la mezcla a su temperatura de compactación, de acuerdo con el tipo de asfalto, o sea la determinada como se describe en el subpárrafo b2) párrafo b) del inciso (012-D.05) de este Capítulo, se pesan

mil cien (1,100) gramos y se colocan uniformemente a todo lo largo de la canaleta.

a3.d) Con la cuchara plana o paleta, se vierte al molde de compactación la mitad de la mezcla colocada en la canaleta y se acomoda en éste picándola con la varilla veinte (20) veces en la parte central y veinte (20) veces en la parte perimetral, después de lo cual se vierte en el molde la mezcla restante y se repite el procedimiento de picado con la varilla. Cuando se trate de mezclas con emulsiones, en esta etapa deberá tomarse una muestra para verificar el contenido de agua mediante la prueba rápida descrita en el inciso (002-E.03) de este Libro 6.

a3.e) Se instala en el compactador el molde montado en el sujetador conteniendo la mezcla; en seguida se pone a funcionar dicho compactador con una presión de diecisiete punto seis (17.6) kilogramos sobre centímetro cuadrado y se aplican veinte (20) golpes, aproximadamente, con objeto de dar una compactación preliminar a la mezcla, lo cual ocurre cuando ésta no se deforma excesivamente al aplicar con el compactador presiones de treinta y cinco (35) kilogramos sobre centímetro cuadrado. El número de golpes para la compactación inicial varía de diez a cincuenta (10 a 50) dependiendo del tipo de mezcla y será precisado mediante observación para que resista la presión antes indicada sin sufrir deformaciones excesivas.

a3.f) Después de aplicada la compactación preliminar, se afloja el tornillo del sujetador y se

remueven las calzas en que se apoya el molde, con lo cual éste queda libre para permitir el efecto de compactación por las caras inferior y superior del espécimen. Se eleva la presión de compactación a treinta y cinco (35) kilogramos sobre centímetro cuadrado y se dan ciento cincuenta (150) aplicaciones del pistón.

a3.g) Se retira del compactador el molde conteniendo el espécimen y se colocan en el horno a sesenta grados centígrados (60°C), durante hora y media, excepto cuando se trata de mezclas con emulsiones en las que no se calienta la mezcla. En estas condiciones de temperatura, se coloca el molde conteniendo el espécimen en la máquina de compresión, descansándolo en el cuerpo cilíndrico de menor tamaño, y el de mayor tamaño se le instala en la parte superior; a continuación se le aplica por el método de doble pistón una carga para nivelación de cinco mil setecientos (5,700) kilogramos, con una velocidad de desplazamiento de la platina de uno punto tres (1.3) milímetros por minuto.

a3.h) Se desmonta del sujetador el molde conteniendo el espécimen y se dejan enfriar a la temperatura ambiente, y en estas condiciones se determina el peso en gramos de ambos, se mide la altura del espécimen en milímetros y se anotan los resultados.

a3.i) Cuando se trate de una mezcla asfáltica elaborada con materiales arenosos o muy inestables, en la que no sea posible comple-

tar su compactación como quedó indicado, el espécimen se compactará aplicando después de la compactación preliminar, una carga estática de dieciocho mil (18,000) kilogramos, mediante el método de doble pistón, para lo cual se retiran las cuñas que soportan el molde y se deja que se desplacen libremente los pistones de la máquina de prueba, para compactar la muestra con una velocidad de desplazamiento de la platina de uno punto tres (1.3) milímetros por minuto y manteniendo la carga durante treinta más menos cinco (30 ± 5) segundos.

- a3.j) Usando el primer espécimen como referencia, se ajusta la cantidad de mezcla, W_{EC} , para tener en el espécimen compactado una altura de sesenta y tres punto cinco (63.5) milímetros, como sigue:

$$W_{EC} = \frac{(63.5) (1,100)}{H_E}$$

En donde:

W_{EC} es el peso de la mezcla, para obtener un espécimen compactado con altura de sesenta y tres punto cinco (63.5) milímetros, en gramos.

H_E es la altura del primer espécimen tomado como referencia para corregir el peso de la mezcla, en milímetros.

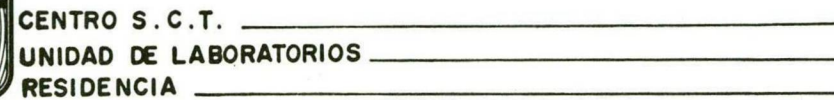
1,100 es el peso del espécimen utilizado como referencia, en gramos.

a3.k) Utilizando los moldes preparados y con el peso igual al de la mezcla corregida, se elaboran los demás especímenes de cada contenido de asfalto para la prueba del estabilómetro, siguiendo el procedimiento descrito en los sub-subpárrafos a3.a) a a3.j), de este subpárrafo y sucesivamente se van colocando en el horno para mantenerlos a la temperatura de prueba, excepto cuando se trate de mezclas con emulsiones, en cuyo caso los especímenes en su molde se dejan en posición horizontal, a la temperatura ambiente durante tres (3) días, antes de ser probados.

a3.l) Para la elaboración de los especímenes que se emplean en la prueba de expansión, se seguirá el procedimiento indicado en los sub-subpárrafos a3.a) al a3.k) de este subpárrafo, excepto lo siguiente: los moldes no se calientan y se acondicionan colocándoles alrededor de su parte interior y a una altura de quince a veinte (15 a 20) milímetros de su fondo, una tira de papel impregnado con parafina, para evitar el escape del agua entre el molde y el espécimen, durante el período de inmersión a que éstos serán sometidos; por lo que se refiere a la temperatura de compactación, ésta será de ciento diez grados centígrados (110°C), cuando se trate de cementos asfálticos, y de sesenta grados centígrados (60°C) cuando se utilicen rebajados. Las excepciones en el tratamiento del espécimen, después de aplicada la carga de compactación, consisten en que no se coloca en el horno dicho espécimen y la carga de

nivelación no se le aplica por el sistema de doble pistón, sino que para ello se invierte el molde, se coloca así en la platina de la máquina de compresión, se desplaza el espécimen con el seguidor hasta que queda apoyado en dicha platina y en estas condiciones se continúa con la aplicación de la carga de nivelación según lo indicado en el procedimiento establecido en el sub-subpárrafo a3.g) de este subpárrafo.

- b) Transcurrido el período de enfriamiento de los especímenes de prueba, se extraen del molde y se les determina a cada uno de ellos el peso volumétrico, aplicando el método de la parafina que se describe en el inciso (012-E.06). Los datos obtenidos se anotan en la hoja de registro, Figura Núm. 90.
- c) Esta parte del procedimiento consiste en obtener, mediante el estabilómetro de Hveem, la resistencia a la deformación de especímenes elaborados con mezcla asfáltica, evaluándola mediante la presión lateral que en ellos se desarrolla al aplicarles una carga vertical dentro del estabilómetro; estos valores nos permiten seleccionar las condiciones más favorables de las mezclas asfálticas para fines de proyecto y revisión. El procedimiento es el siguiente:
 - c1) El equipo necesario para efectuar esta prueba consiste en un estabilómetro, un cilindro de calibración, una máquina de compresión y un cuerpo cilíndrico metálico o seguidor; todos con las características descritas en el párrafo f) del inciso (6.01.01.002-N.08) de este libro 6. Además lo siguiente:



DIRECCION GRAL. de Servicios Técnicos
DEPARTAMENTO de Ensaye de Materiales
LABORATORIO Ofna. de Asfaltos y Concretos

DESCRIPCION DE LA MUESTRA	Basalto Vesicular	ESTUDIO POR EFECTUAR	Prueba de Hveem	ENSAYES NUMS.	ACA - 8625	FECHA DE INICIACION	15 - IV - 87
PROCEDENCIA	Banco La Joya Km. 74 + 500, Tramo: Perote - Jalapa			FECHA DE TERMINACION	27-IV-87	LABORATORISTA	José Martínez

TEMPERATURA DE COMPACTACION, °C 140
TEMPERATURA DE PRUEBA, °C 60

PESO ESPECIFICO DEL MAT. PETREO (S_p) 2.42

PESO ESPECIFICO DEL MATERIAL DE RECUBRIMIENTO (γ_f) 0.85 g/cm³

PESO ESPECIFICO DEL CEMENTO ASFALTICO (γ_{CA}) 1.03 g/cm³

$$* \text{ PESO ESPECIFICO TEORICO MAXIMO } = \frac{100}{\frac{\% \text{ CA}}{\gamma_{\text{CA}}} + \frac{\% \text{ MP}}{s_p}}$$

FIGURA NUM. 90.- HOJA DE REGISTRO Y CALCULO PARA LA PRUEBA DE HVEEM EN MEZCLAS ASFALTICAS.

Apoyo metálico de forma cilíndrica con su extremo superior adaptado al molde para sujetar éste debidamente centrado al sacar el espécimen, con las características indicadas en la Figura Núm. 91.

Dispositivo con perilla de hule para inyectar aire a la cámara del estabilómetro.

Calibrador con vernier, del tipo máuser, con capacidad de doce (12) centímetros y aproximación de cero punto un (0.1) milímetro.

- c2) Se verifica el ajuste y montaje del equipo, de acuerdo con lo descrito en el subpárrafo f3) párrafo f), del inciso (002-N.08), antes mencionado.
- c3) Se colocan en el horno los especímenes correspondientes a la prueba del estabilómetro, a la temperatura de sesenta grados centígrados (60°C), por un período no menor de dos (2) horas antes de la prueba y se ajusta la velocidad de avance de la máquina de prueba a uno punto tres (1.3) milímetros por minuto.
- c4) Se saca del horno uno de los especímenes, se introduce cuidadosamente en el estabilómetro, se coloca el seguidor en la parte superior del espécimen y a continuación todo este sistema se instala en la máquina de compresión. Se aplica al espécimen una presión lateral de cero punto treinta y cinco (0.35) kilogramos por centímetro cuadrado, operando para ello la manivela del estabiló-

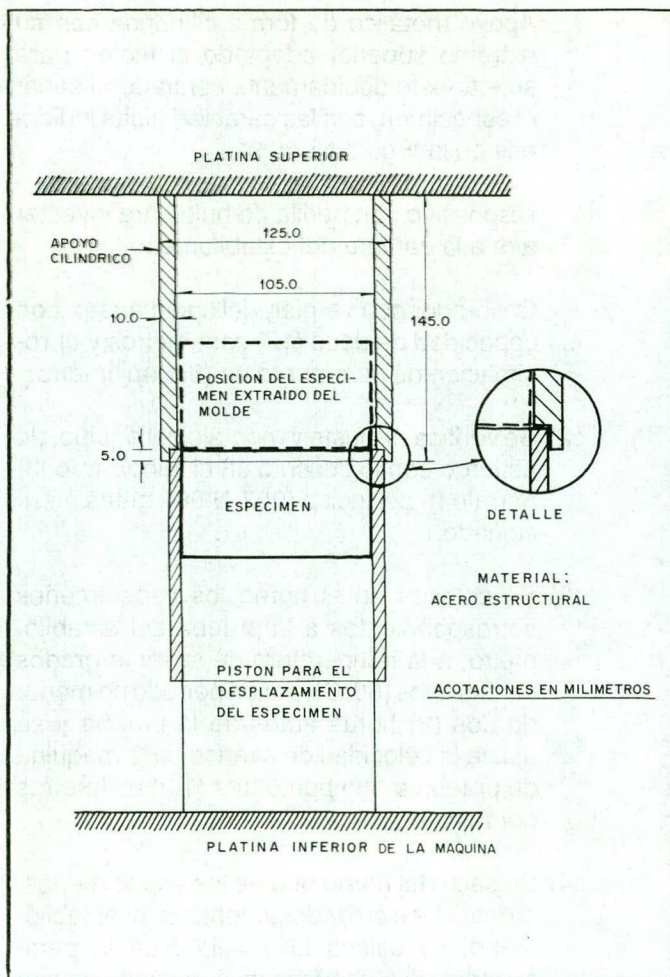


FIGURA NUM. 91.- APOYO CILINDRICO MONTADO,
PARA SACAR ESPECIMENES DEL MOLDE.

metro, y en seguida se le aplica carga vertical con la máquina de compresión a una velocidad de avance de uno punto tres (1.3) milímetros por minuto y se van anotando las lecturas de presión lateral producidas por el espécimen en el manómetro del estabilómetro, para las cargas de doscientos veinticinco (225), cuatrocientos cincuenta (450), novecientos diez (910), mil trescientos sesenta (1,360), mil ochocientos quince (1,815), dos mil doscientos setenta (2,270) y dos mil setecientos veinte (2,720) kilogramos. Inmediatamente después de alcanzar la carga vertical últimamente mencionada, se reduce ésta descargando hasta cuatrocientos cincuenta (450) kilogramos y se mantiene fija en este valor; a continuación, operando la manivela del estabilómetro se fija la presión horizontal en cero punto treinta y cinco (0.35) kilogramos por centímetro cuadrado, lo cual suele originar una reducción en la carga vertical, misma que se considera normal y no se requiere por lo tanto hacer ninguna corrección. Se ajusta a "cero" el micrómetro con que se mide el desplazamiento de la bomba, utilizando para ello el tornillo micrométrico correspondiente; se gira la manivela del estabilómetro a una velocidad de dos vueltas por segundo hasta alcanzar en el manómetro la presión de siete punto cero tres (7.03) kilogramos por centímetro cuadrado y se anota en la hoja de registro el desplazamiento indicado en el manómetro, como desplazamiento del espécimen. Durante esta operación la carga registrada en la máquina de compresión sufre un incremento, el que en algunos casos origina se exceda la carga

vertical de cuatrocientos cincuenta (450) kilogramos; pero no se debe hacer ninguna corrección por este concepto. Se libera la carga vertical y se acciona la manivela del estabilómetro hasta dar tres (3) vueltas más, después de que el manómetro registró cero (0), y se extrae el espécimen de dicho aparato.

- c5) En esta prueba se calcula y reporta lo siguiente.

El valor R de estabilidad para cada uno de los especímenes de los diferentes contenidos de asfalto, mediante la siguiente fórmula:

$$R = \frac{22.2 (P_v - P_h)}{P_h D_E + 0.222 (P_v - P_h)}$$

En donde:

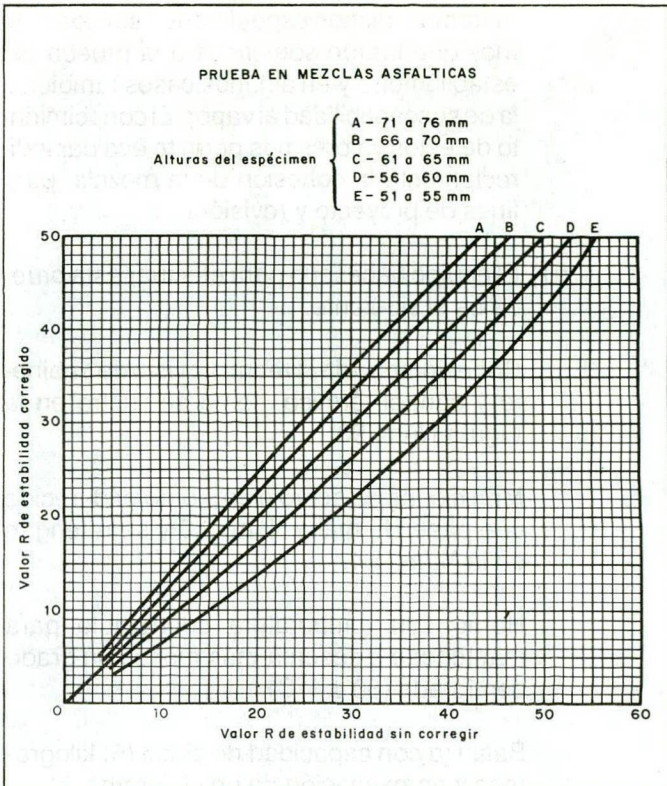
P_v es la presión vertical de veintiocho punto dos (28.2) kilogramos por centímetro cuadrado, correspondiente a una carga total aplicada de dos mil doscientos setenta (2,270) kilogramos.

P_h es la presión horizontal medida en el manómetro del estabilómetro, correspondiente a P_v .

R es el valor de estabilidad en la mezcla asfáltica, determinado con el método de Hveem.

D_E es el desplazamiento de la bomba al probar el espécimen en el estabilómetro, dado en número de vueltas de la manivela.

En caso de ser necesario estos valores de estabilidad se corregirán por variación en la altura de los especímenes, utilizando la gráfica de la Figura Núm. 92, después de lo cual se promedian los correspondientes a un mismo contenido de asfalto y se reportan



**FIGURA NUM.- 92 GRAFICA PARA CORREGIR
POR ALTURA DEL ESPECIMEN LOS
VALORES R DE ESTABILIDAD,
A UNA ALTURA DE 63.5 MM.**

como valor de estabilidad de la mezcla respectiva.

- d) Esta parte del método tiene por objeto medir mediante el cohesiómetro de Hveem, la carga de falla que se registra al someter a doblado especímenes que se sujetan por uno de sus extremos; dichos especímenes son los mismos que fueron sometidos a la prueba del estabilómetro y en algunos casos también a la de susceptibilidad al vapor. El conocimiento de estos valores nos permite evaluar indirectamente la cohesión de la mezcla, para fines de proyecto y revisión.

- d1) El equipo necesario para efectuar esta prueba es el siguiente:

Cohesiómetro de Hveem provisto de gabinete y control térmico, como se ilustra en la Figura Núm. 93.

Municiones de acero o de plomo endurecido que pasen la malla Núm. 2.0 y se retengan en la Núm. 1.4.

Horno con temperatura controlable para mantenerla a sesenta más menos un grado centígrado ($60 \pm 1^{\circ}\text{C}$).

Balanza con capacidad de cinco (5) kilogramos y aproximación de un (1) gramo.

- d2) Se calibra el regulador del lastre del cohesiómetro para que las municiones fluyan a razón de mil ochocientos más menos veinte

($1,800 \pm 20$) gramos por minuto y se verifica que la longitud del brazo que produce el esfuerzo de flexión, sea de setenta y seis (76) centímetros.

- d3) Se colocan los especímenes durante dos (2) horas en un horno a sesenta más menos un grado centígrado ($60 \pm 1^\circ\text{C}$); se ajusta el termostato para que la temperatura interior, estando cerrado el cohesiómetro, se mantenga en sesenta más menos un grado centígrado ($60 \pm 1^\circ\text{C}$). A continuación, se fija el brazo de carga mediante su seguro, se saca del horno uno de los especímenes y de inmediato se coloca y centra entre las placas paralelas del cohesiómetro, sujetándolo firmemente sin llegar a dañarlo. Estando cerrada la tapa se espera el tiempo necesario para que en el interior del gabinete se recupere la temperatura de sesenta más menos un grado centígrado ($60 \pm 1^\circ\text{C}$) y una vez logrado esto, se retira el seguro de fijación del brazo de carga y se oprime el botón de descarga para dejar libre el paso de las municiones hasta que el espécimen falle, lo cual ocurre cuando el brazo de carga se desplace trece (13) milímetros, con lo que se interrumpe automáticamente el paso de las municiones. Se pesan las municiones contenidas en el recipiente, con aproximación de un gramo, y se anota el peso en la hoja de registro, Figura Núm. 90. En igual forma se procede con cada uno de los especímenes a los que previamente se les hizo la prueba del estabi-lómetro.

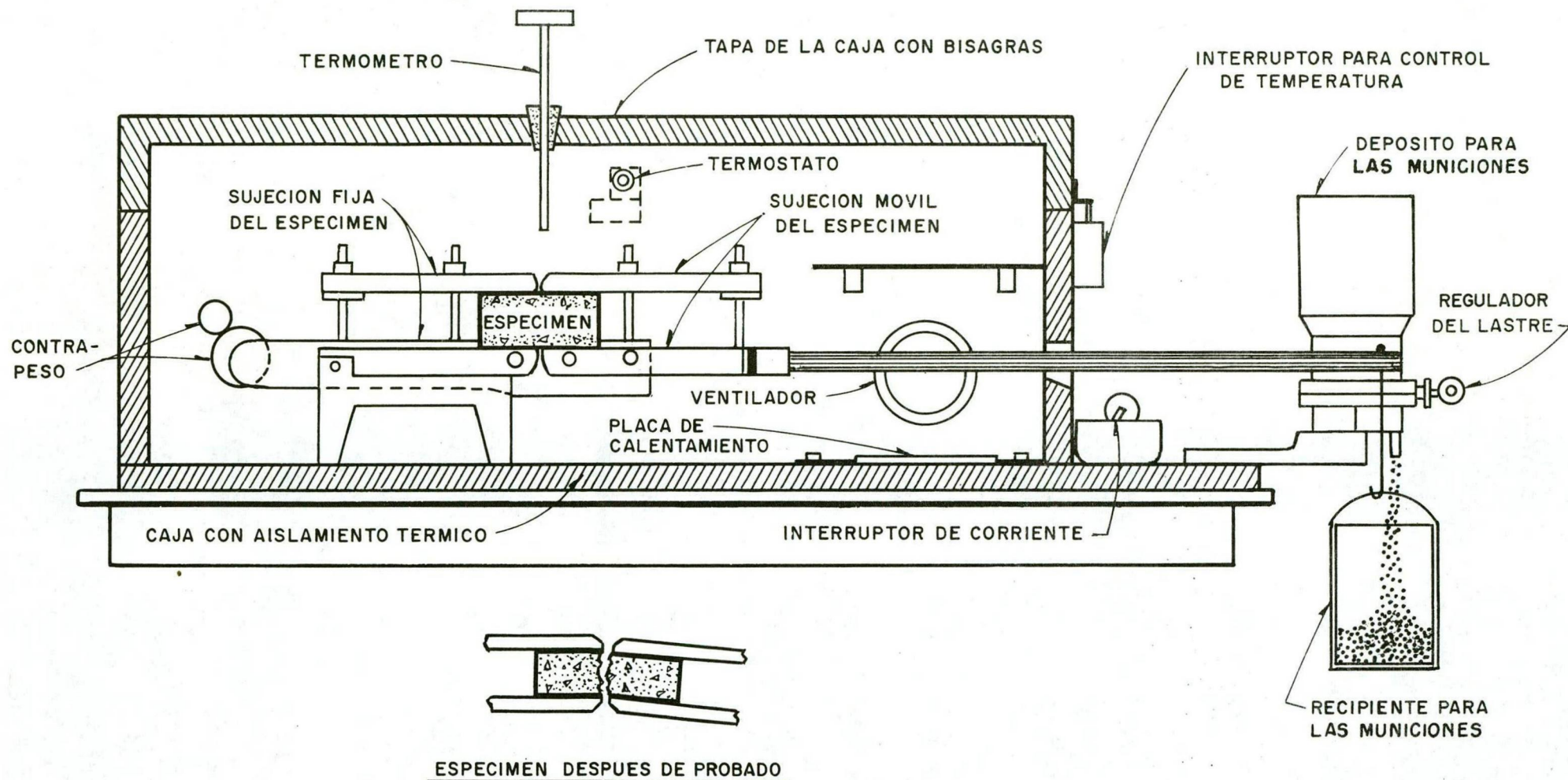


FIGURA NUM. 93.-COHESIOMETRO DE HVEEM

d4) En esta prueba se calcula el valor de cohesión mediante la siguiente fórmula:

$$C = \frac{L}{W (0.02 H + 0.0044 H^2)}$$

En donde:

C es el valor de cohesión estimado por ancho de probeta de veinticinco (25) milímetros, medidos sobre el diámetro de falla y corregido para alturas de dicha probeta de setenta y seis (76) milímetros, en gramos.

L es el peso de las municiones, en gramos.

W es el diámetro del espécimen, en centímetros.

H es la altura del espécimen, en centímetros.

Se calcula y reporta el promedio de los valores del cohesiómetro para cada contenido de cemento asfáltico.

e) La prueba de expansión y permeabilidad en este procedimiento, tiene por objeto determinar en tres (3) especímenes elaborados con el contenido óptimo de asfalto, la resistencia de la mezcla al reblandecimiento y desintegración en presencia de agua, a la vez que permite evaluar el grado en que la mezcla compactada resiste la entrada

de dicho elemento. Consiste esencialmente en aplicar sobre la cara superior de los especímenes colocados dentro de sus moldes, un tirante de agua y medir en estas condiciones el cambio volumétrico que se produce en ellos, así como estimar la permeabilidad mediante la disminución del tirante de agua.

- e1) El equipo necesario para efectuar esta prueba es el siguiente:

Tres charolas redondas de aluminio, de veinte (20) centímetros de diámetro y seis punto cinco (6.5) centímetros de altura.

Tres placas circulares de bronce, de noventa y ocho punto cuatro (98.4) milímetros de diámetro y tres punto dos (3.2) milímetros de espesor, con perforaciones; estarán provistas de vástago ajustable para apoyar el extensómetro.

Tres trípodes metálicos adaptados para sostener los extensómetros que registran la expansión, Figura núm. 94.

Tres extensómetros con carrera de veinticinco punto cuatro (25.4) milímetros y aproximación de cero punto cero un (0.01) milímetro.

Escala de metal graduada en milímetros, con longitud mínima de quince (15) centímetros.

- e2) Una vez que los especímenes han sido elaborados como se describe en el sub-subpá-

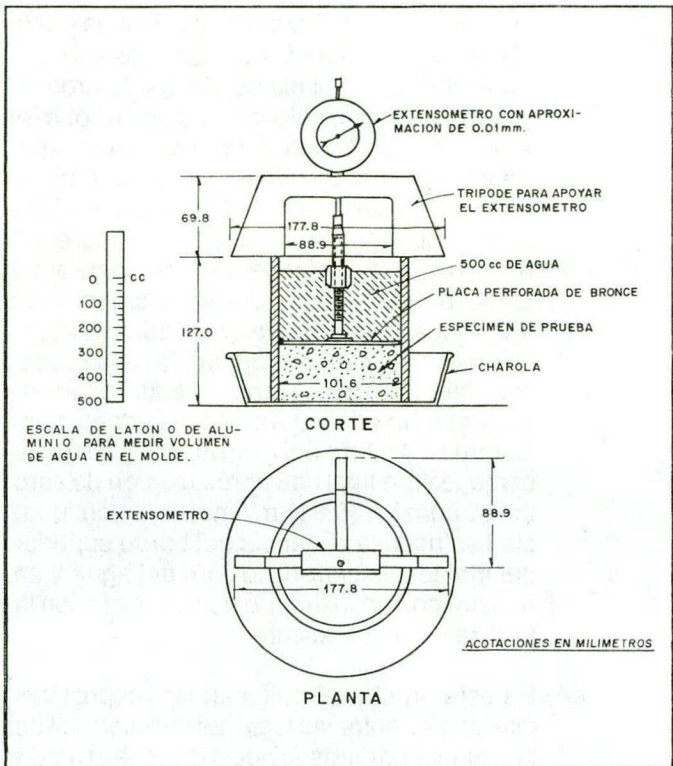


FIGURA NUM.- 94 APARATO PARA LA PRUEBA DE EXPANSION

(para colocar en moldes de 101.6 a 152.4 de diám.).

rrafo a3.e), subpárrafo a3), párrafo a) de este inciso, se dejan en reposo dentro del molde, a la temperatura ambiente, cuando menos una hora antes de someterlos a saturación.

e3) Con cada espécimen dentro de su molde se procede como sigue:

Se coloca en un charola y se le instala por la parte superior del molde, centrado sobre el espécimen, una placa perforada de bronce; así también, se le coloca en posición sobre el molde, el trípode con su respectivo extensómetro, apoyando el vástago sobre la placa perforada y ajustando éste para que registre una pequeña lectura inicial. Se agregan quinientos (500) centímetros cúbicos de agua en la parte superior del espécimen y se determina con la escala graduada la distancia del borde superior del molde a la superficie libre del agua. Transcurridas veinticuatro (24) horas de saturación del espécimen, se toma la lectura del micrómetro y se anota como lectura final con aproximación de cero punto cero un (0.01) milímetro; a continuación se mide la distancia del borde superior del molde a la superficie libre del agua y se registra con un milímetro de aproximación la lectura correspondiente.

- e4) En esta prueba se calculan las respectivas diferencias entre las lecturas inicial y final de los extensómetros colocados sobre cada espécimen, y se determina su promedio, el cual se reporta con aproximación de cero punto cero un (0.01) milímetro, como expansión de la mezcla compactada. Así también, se determinan las diferencias entre las lecturas final e inicial de la superficie del agua al borde del molde y su promedio se reporta como valor de la permeabilidad de la mezcla asfáltica, en milímetros.
- f) Esta parte del procedimiento consiste en determinar la susceptibilidad de las mezclas asfálticas

al humedecimiento por vapor de agua, mediante la estabilidad retenida en dichas mezclas después de someterlas a un proceso que representa la acción del vapor proveniente de las capas subyacentes del pavimento; los valores obtenidos nos permiten seleccionar la condición más favorable de las mezclas asfálticas para fines de proyecto y revisión. El procedimiento es el siguiente:

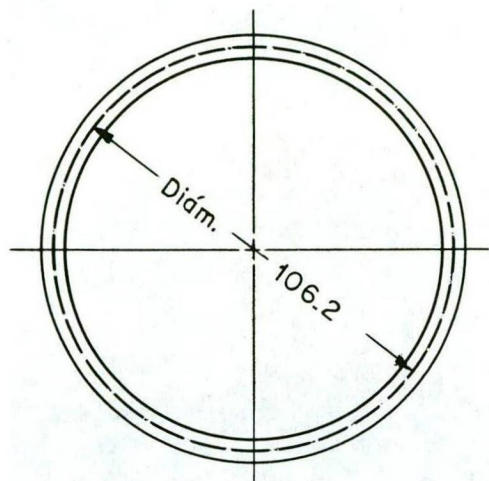
- f1) El equipo necesario para efectuar esta prueba consiste en:

Estabilómetro de Hveem y sus accesorios, con las características descritas en el párrafo f) del inciso (6.01.01.002-N.08) de este Libro 6.

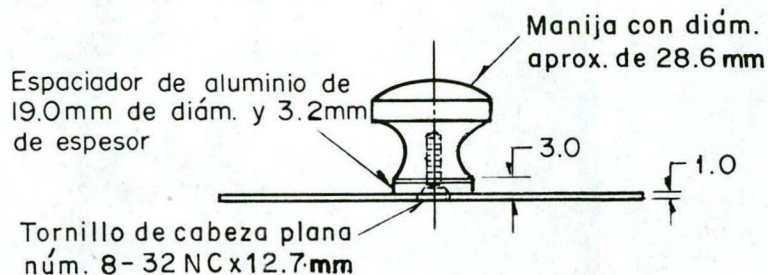
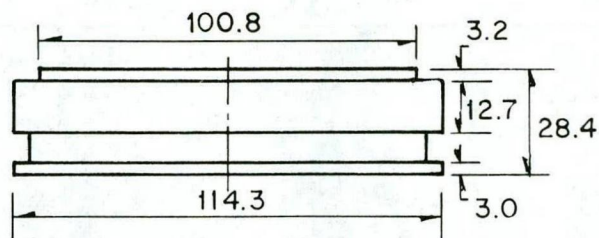
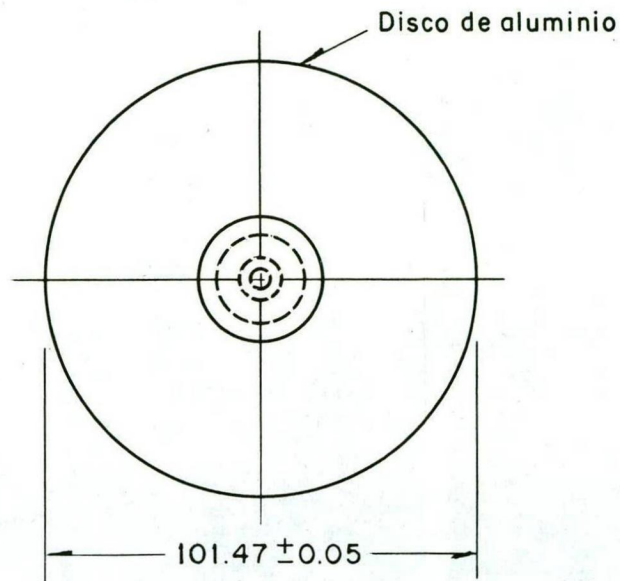
Máquina de compresión con capacidad mínima de veintitrés (23) toneladas y aproximación de cien (100) kilogramos, velocidad de avance controlable, que permita velocidades de uno punto veintisiete (1.27) milímetros por minuto.

Horno con control termostático, que permita mantener temperatura de sesenta más menos dos grados centígrados ($60 \pm 2^{\circ}\text{C}$), con dispositivo de recirculación de aire.

Tapa de aluminio con cierre hermético de ciento uno punto uno (101.1) milímetros de diámetro y espesor de cero punto nueve a uno punto dos (0.9 a 1.2) milímetros, Figura Núm. 95.



Acotaciones en milímetros



a) PLACA ESTANDAR PARA SELLAR TAPAS DE PAPEL ALUMINIO.
MATERIAL: ACERO DE BAJA DUREZA

b) TAPA SELLADORA DE ALUMINIO

FIGURA NUM. 95 ACCESORIOS PARA LA PRUEBA DE SUSCEPTIBILIDAD DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS AL HUMEDECIMIENTO POR VAPOR DE AGUA.

Empaques de fieltro de forma circular, de ciento un (101) milímetros de diámetro y seis (6) milímetros de espesor.

Tiras de fieltro de seis por cincuenta por ciento noventa (6 x 50 x 190) milímetros.

Sujetadores o soporte de muelle metálicos para mantener la tira de fieltro en posición.

Charolas redondas de lámina con recubrimiento anticorrosivo, altura de treinta y dos (32) milímetros y diámetro de noventa y siete (97) milímetros.

Placa standard de acero de baja dureza, para asentar cubiertas selladoras de papel aluminio, Figura Núm. 95.

- f2) Para la preparación de la muestra y elaboración de los especímenes se seguirán los procedimientos descritos en los subpárrafos a2) y a3) respectivamente, del párrafo a) de este inciso, fabricando solamente tres (3) especímenes con el contenido óptimo estimado o bien, con el óptimo seleccionado para fines de revisión; al ir terminando la elaboración de cada espécimen para esta prueba y después de colocarlo en el horno a sesenta grados centígrados (60°C) durante una hora y de extraerlo, se invierte y se coloca sobre la platina de la máquina de compresión, se desplaza dicho espécimen con el seguidor hasta quedar apoyado en la platina referida y en estas condiciones se continúa con la aplicación de la carga de nivelación, de acuerdo con el procedimiento

establecido en el sub-subpárrafo a3.g), subpárrafo a3), párrafo a), de este inciso.

- f3) Los especímenes en sus respectivos moldes, se preparan para evitar que escape la humedad del vapor de agua, sellándoles su cara compactada con papel aluminio y sus bordes con producto asfáltico similar al utilizado en trabajos de impermeabilización, disuelto en dicloroetileno, en tal proporción que produzca a la mezcla una consistencia similar a la de la pintura usual. A continuación se aplican en la cara del fondo, o sea la no compactada de cada espécimen, los empaques de fieltro, Figura Núm. 96, los cuales previamente habrán sido saturados en agua y en seguida se les aplican las respectivas tiras de fieltro absorbente, que también estarán saturadas en agua y se pondrán en contacto con los correspondientes empaques en la forma ilustrada en la citada Figura 96; se sujetan finalmente cada uno con las láminas o muelles metálicos correspondientes, para mantenerlos en posición. Se coloca cada conjunto sobre su respectiva charola conteniendo agua, quedando como se muestra en la figura antes mencionada. Al insertar el molde sobre la charola se asegurará que los extremos libres de la tira de fieltro queden siempre sumergidos en el agua. Se colocan los tres (3) conjuntos de elementos montados como quedó descrito, dentro del horno a una temperatura de sesenta grados centígrados (60°C) durante un período ininterrumpido de setenta y cinco (75) horas, procurando mantener el nivel del agua de las charolas

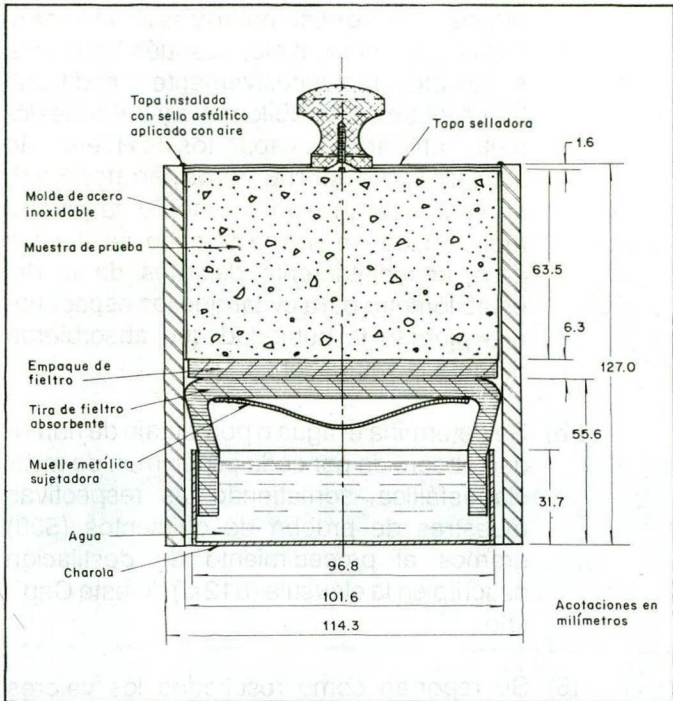


FIGURA NUM.- 96 MONTAJE PARA LA PRUEBA DE SUSCEPTIBILIDAD AL HUMEDECIMIENTO POR VAPOR DE AGUA DE UN ESPECIMEN DE MEZCLA ASFALTICA.

durante este período, para lo cual se vigilarán periódicamente a efecto de evitar que se agote el líquido y se interrumpa el humedecimiento por vapor de agua.

f4) El procedimiento de prueba es el siguiente:

f4.a) Terminado este período de humedecimiento se sacan del horno los especímenes en sus

dispositivos, se desmontan y se les elimina el sello de papel aluminio, después de lo cual se les efectúan sucesivamente a cada uno las pruebas del estabilómetro y del cohesiómetro, utilizando los aparatos de Hveem, de acuerdo con lo descrito en los párrafos c) y d) de este inciso, respectivamente; la prueba mencionada en último término se lleva a cabo inmediatamente después de la del estabilómetro para evitar que los especímenes pierdan la humedad que absorbieron durante la saturación.

- f4.b) Se determina el agua o porcentaje de humedad absorbida por cada espécimen de mezcla asfáltica, sometiendo las respectivas muestras de prueba de quinientos (500) gramos al procedimiento de destilación descrito en la cláusula (012-J) de este Capítulo.
- f5) Se reportan como resultados los valores numéricos obtenidos en la prueba del estabilómetro y la del cohesiómetro, así como el contenido de agua o humedad absorbida por la mezcla, en por ciento. Para la interpretación de los resultados de esta prueba se considerará que en ningún caso el valor R del estabilómetro sea menor de veinte (20).
- g) En esta prueba se calcula y reporta finalmente lo siguiente:
 - g1) Se determina el peso específico teórico máximo de cada una de las mezclas asfálticas consideradas en el estudio, de acuerdo

con lo que se indica en el inciso (012-E.01) de este Capítulo y los datos obtenidos se anotan en la hoja de registro, Figura Núm. 90.

g2) Se calcula el porcentaje de vacío del material pétreo, VAM, en la mezcla compactada, con los datos promedio de los respectivos especímenes elaborados, de acuerdo con lo que se describe en el inciso (012-E.01) y los valores obtenidos se anotan en la hoja de registro. Figura Núm. 90.

g3) Se calcula el porcentaje de vacíos de la mezcla compactada que forma los especímenes, con los datos promedio de éstos y siguiendo el procedimiento que se describe en el inciso (012-E.01), y los valores obtenidos se anotan en la hoja de registro. Figura Núm. 90.

g4) Se determinan y anotan también en la hoja de registro los valores promedio para cada serie o grupo de especímenes correspondientes a un mismo porcentaje, de lo siguiente: proporción de asfalto que contiene, peso volumétrico, estabilidad relativa R y valor del cohesiómetro; se desechan los datos de aquellos especímenes que no cumplan con las siguientes tolerancias, respecto a los promedios correspondientes de cada serie:

Más menos cinco por ciento ($\pm 5\%$) del contenido de asfalto.

Más menos dos por ciento ($\pm 2\%$) del peso volumétrico.

Más menos ocho por ciento ($\pm 8\%$) de la estabilidad relativa R (tentativo).

Más menos diez por ciento ($\pm 10\%$) del valor del cohesiómetro (tentativo).

- g5) Utilizando los promedios de los valores que no exceden las tolerancias indicadas en el subpárrafo anterior, se dibujan las siguientes gráficas, como se ilustra en la Figura Núm. 97:

Peso volumétrico-proporción de asfalto.

Por ciento de vacío de la mezcla-proporción de asfalto.

Valor del cohesiómetro-proporción de asfalto.

Estabilidad relativa (R)-proporción de asfalto.

Por ciento de vacío del material pétreo-proporción de asfalto.

- g6) De cada gráfica se define cuál es el contenido de asfalto que mejor satisface los requisitos de proyecto, para cada una de las características que se graficaron y se promedian dichos contenidos.

- g7) Se define el contenido óptimo de asfalto ajustando el promedio determinado como se indicó en el subpárrafo g6) de este párrafo, de tal manera que se cumpla con todos los requisitos del proyecto, incluyendo los de expansión, permeabilidad y en algunos ca-

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

DEPENDENCIA _____

CENTRO SCT _____

DEPTO. DE ENSAYE DE MATERIALES _____

UNIDAD DE LABORATORIOS _____

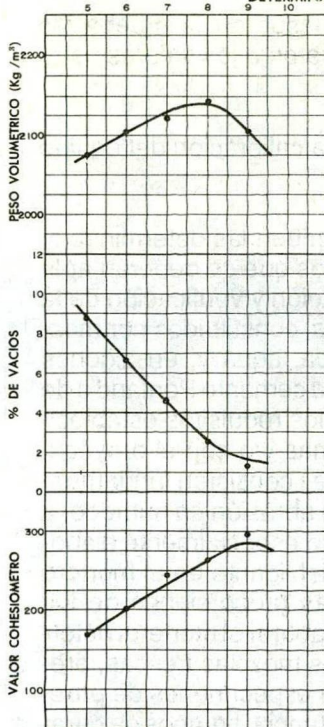
RESIDENCIA _____

MUESTRA DE *Basalto vesicular*PROCEDENCIA *Carretera: Zacatepec- Xalapa*LOCALIZACION *Banco: "La Joya" Km 74+500 Troma: Perote-Xalapa*ENVIADA POR *C. Ing. Tomás Antonio Ibarra*

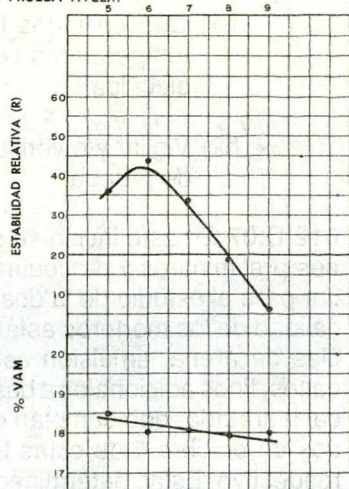
EXPEDIENTE NUM. _____

ENSAYE NUM. *ACA-8625*FECHA DE RECIBO *26-III-87*FECHA DE INFORME *20-IV-87*

DETERMINACION PRUEBA HVEEM



% C.A. POR PESO SECO DE AGREGADO



% C.A. POR PESO SECO DE AGREGADO
NORMAS 9.6.7. PARA VOLUMEN
DE TRANSITO DIARIO PROMEDIO EN AMBOS
SENTIDOS, MAYOR DE 2000 VEHICULOS

CEMENTO ASF., % EN PESO	6.5	
PESO VOLUMETRICO (Kg/m³)	2120	
% DE VACIOS	5.5	4 mínimo
VALOR COHESIVOMETRO	215	
ESTABILIDAD (R)	38	37 mínimo
% VAM	18.2	
DENSIDAD DEL MATERIAL PETREO POR INMERSION EN CEMENTO ASFALTICO.	2.42	

EL LABORATORISTA

P.

C. José Martínez

EL JEFE DE LA SECCION DE ASFALTOS

Ing. Ma. Teresa Zarazúa O.

EL JEFE DE LA OFICINA
DE ASFALTOS Y CONCRETOS

Ing. Fco. A. Rangel Ordóñez

FIGURA NUM.- 97 GRAFICAS Y RESULTADOS DE
UNA PRUEBA DE HVEEM.

susceptibilidad al humedecimiento por vapor de agua.

h) En esta prueba deberán tenerse las siguientes precauciones:

h1) Que en todos los pasos de la prueba las temperaturas se ajusten a los valores establecidos.

h2) Vigilar y/o verificar la calibración del equipo de prueba.

012-D.07 En este inciso se describen las determinaciones preliminares y procedimientos que se deberán aplicar para el estudio de la dosificación y verificación de la calidad de los morteros asfálticos, constituidos por mezclas de arena, emulsión asfáltica, agua y, en algunos casos, finos adicionales a base de cemento Portland o de cal hidratada, que cumplan con los requisitos establecidos en el Libro 4 de estas Normas y/o con el proyecto respectivo. Estas determinaciones consisten fundamentalmente en realizar la prueba de abrasión en húmedo, a especímenes de mortero asfáltico especialmente elaborados, para evaluar la eficacia del ligante en el mortero endurecido. Se analizarán varias proporciones de los materiales seleccionados para elaborar el mortero, determinando en las correspondientes mezclas frescas, previamente a la preparación de los especímenes de prueba, sus características de consistencia, tiempos de curado y tiempos de fraguado; con base en todos estos resultados, se seleccionará el mortero que mejor se ajuste a los requisitos del proyecto y/o del uso a que se destine.

a) El equipo y materiales necesarios, son los siguientes:

Mezcladora con tazón de fondo redondeado, con capacidad y velocidad de rotación adecuada para incorporar al agregado pétreo el agua, la emulsión y los finos, que permita observar la consistencia del mortero durante el mezclado.

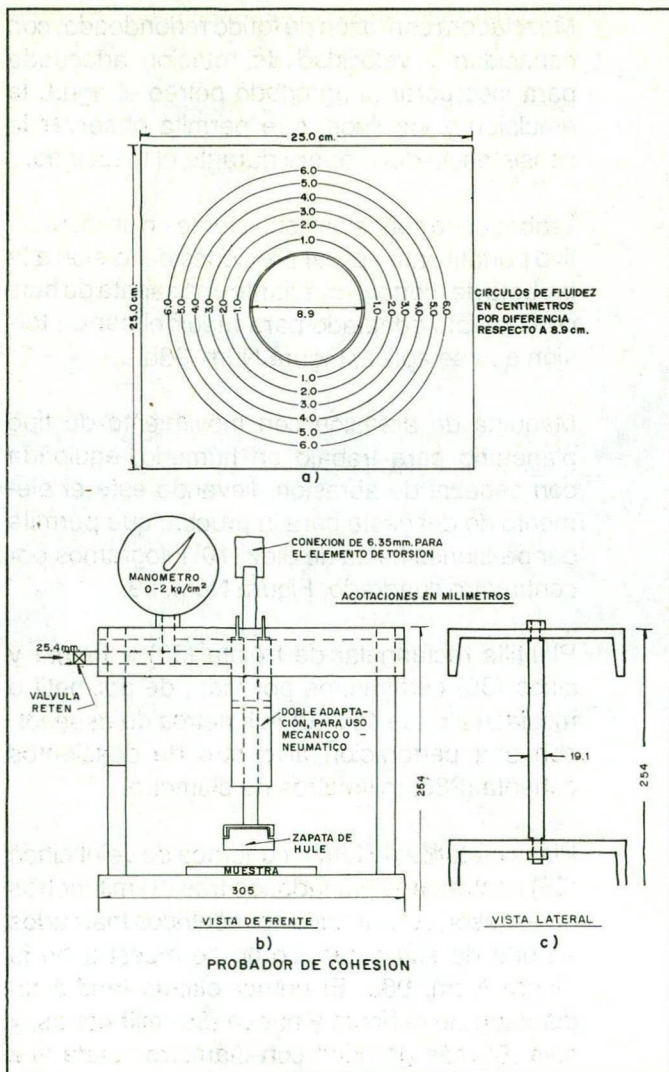
Probador de cohesión consistente en un dispositivo portátil para aplicar presiones de torsión a la probeta de mortero, mediante una zapata de hule con aparato adaptado para medir el par de torsión que se aplica, Figura Núm. 98b.

Máquina de abrasión con movimiento de tipo planetario para trabajo en húmedo, equipada con cabezal de abrasión, llevando éste el elemento de desgaste para la prueba, que permita dar presiones hasta de diez (10) kilogramos por centímetro cuadrado, Figura Núm. 99.

Plantilla rectangular de treinta (30) a treinta y cinco (35) centímetros por lado, de polimetil o metilacrilato, de seis (6) milímetros de espesor, con una perforación al centro de doscientos ochenta (280) milímetros de diámetro.

Placa metálica de forma cuadrada de veinticinco (25) centímetros por lado, de tres (3) milímetros de espesor, con círculos concéntricos marcados en una de sus caras, como se muestra en la Figura Núm. 98a. El primer círculo tendrá un diámetro de ochenta y nueve (89) milímetros, y seis (6) más grandes con diámetros cada vez mayores en diez (10) milímetros que el círculo precedente.

NORMAS PARA MUESTREO Y PRUEBAS DE LOS MATERIALES, EQUIPOS Y SISTEMAS



**FIGURA NUM.- 98 EQUIPO COMPLEMENTARIO
PARA PRUEBAS DE MORTEROS ASFALTICOS.**

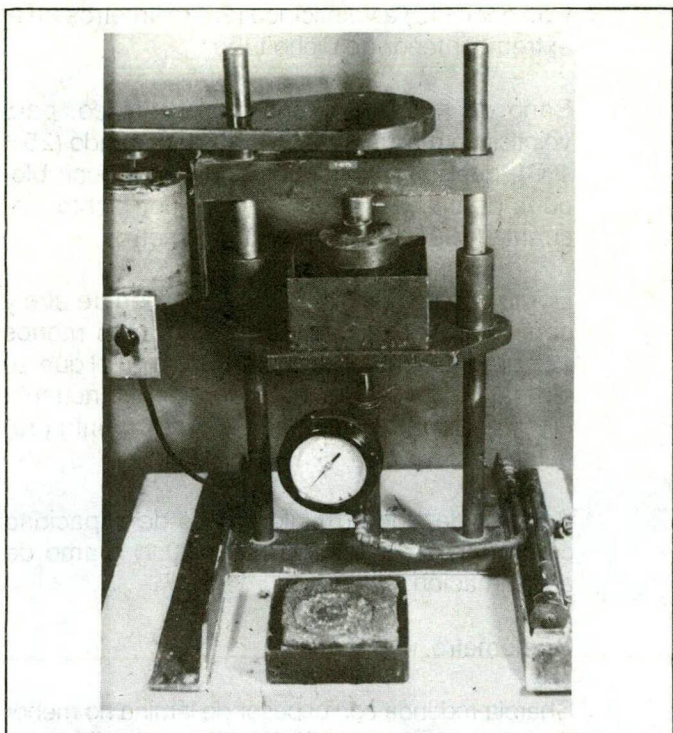


FIGURA NUM. 99 MAQUINA DE ABRASION PARA PRUEBA DE MORTEROS ASFALTICOS.

Molde tronco-cónico de metal o de plástico, con diámetro de treinta y ocho (38) milímetros en la base menor, de ochenta y nueve (89) milímetros en la base mayor y con altura de setenta y seis (76) milímetros.

Embudo de lámina con diámetros de ciento cincuenta (150) a ciento setenta y cinco (175) milímetros en la entrada, de cincuenta (50) a sesenta (60) milímetros en la parte alta del tubo de salida

y de doce (12) a veinticinco (25) milímetros en el extremo inferior de dicho tubo.

Baño de agua con control termostático, para veinticinco más menos un grado centígrado ($25 \pm 1^{\circ}\text{C}$), que tenga capacidad para introducir bloques de ciento cincuenta (150) por ciento cincuenta (150) por treinta (30) milímetros.

Horno con dispositivo para circulación de aire y control termostático para sesenta más menos tres grados centígrados ($60 \pm 3^{\circ}\text{C}$), en el que se puedan introducir bloques de ciento cincuenta (150) por ciento cincuenta (150) por treinta (30) milímetros.

Balanza de cinco (5) kilogramos de capacidad como mínimo y cero punto un (0.1) gramo de aproximación.

Cronómetro.

Charola redonda con espesor de lámina no menor de cero punto nueve (0.9) milímetros, diámetro de treinta y tres (33) centímetros aproximadamente, pared vertical de cinco (5) centímetros como mínimo y cuatro (4) sujetadores adecuadamente distribuidos para fijar en el fondo de la charola la muestra de prueba de doscientos ochenta y cinco (285) milímetros de diámetro y adaptada para instalarse en la plataforma de la máquina de abrasión; también puede usarse una charola rectangular de características similares.

Espátula de acero para manipular los materiales durante la incorporación preliminar, con longitud

suficiente para que se proyecte aproximadamente diez (10) centímetros fuera del tazón de fondo redondeado.

Filtro asfaltado similar al utilizado en impermeabilización, con espesor de seis (6) milímetros, en tiras o plantillas de ciento cincuenta (150) por ciento cincuenta (150) milímetros.

Doce (12) bloques de concreto hidráulico con dimensiones de ciento cincuenta (150) por ciento cincuenta (150) por treinta (30) milímetros.

- b) La preparación de la muestra consiste en elaborar mezclas con diferentes porcentajes de emulsión, agua y en algunos casos cemento Portland o cal hidratada, a efecto de obtener en ellas una consistencia apropiada para el tratamiento de superficie de rodamiento de los pavimentos. Se tomará en cuenta esta consistencia como condición inicial, para fijar la proporción del mortero. El mezclado tendrá una duración no menor de uno (1) ni mayor de tres (3) minutos, a una temperatura de veinticinco más menos un grado centígrado ($25 \pm 1^{\circ}\text{C}$) y se procederá como sigue:
 - b1) De los materiales pétreos seleccionados y preparados se obtiene por cribado una cantidad aproximada de quince (15) kilogramos, que pase la malla Núm. 4.75.
 - b2) De la fracción mencionada se obtienen por cuarteo ochocientos (800) gramos, que se vacían al tazón de la mezcladora; a continuación, se agrega agua en incrementos sucesivos alternados con mezclado del material

mediante la espátula, a fin de homogeneizarlo y distribuir la humedad. El agua que se agregue deberá ser suficiente para originar en el material un cambio del color claro estando seco a otro más oscuro estando húmedo.

- b3) Se agrega a la mezcla en el tazón la cantidad de emulsión asfáltica correspondiente a la primera alternativa del estudio, siendo en general de quince por ciento (15%) en peso para los materiales que pasen la malla Núm. 2.36.
- b4) Se continúa incorporando agua a la mezcla en el tazón en incrementos sucesivos, alternando con mezclado suficiente para homogeneizar la pasta y observar en cada incremento si presenta segregación, hasta lograr que fluya a través del embudo y en este momento se mide su consistencia. En algunas mezclas que a pesar de su contenido de agua presenten segregación, ésta se podrá corregir agregando cemento Portland o cal hidratada a razón de uno por ciento (1%) en peso con respecto al material pétreo; corregida la segregación, se les determinará su consistencia.
- c) Para determinar la consistencia se llena el molde tronco-cónico por la base mayor con la mezcla elaborada y encima se le coloca la placa metálica del lado en que están grabados los círculos, centrándola en la cara superior del molde y apretándolos firmemente; se invierten rápidamente y a continuación se remueve el molde

permitiendo que el mortero asfáltico se desborde hacia los demás círculos de la placa, hasta que deje de deslizarse, y en seguida se mide su desplazamiento en centímetros; cuando la fluidez sea de dos a tres (2 a 3) centímetros se habrá alcanzado la consistencia adecuada del mortero y se suspenderá la adición de agua.

- d) Se determina el tiempo de fraguado inicial del mortero al tener éste la consistencia correspondiente a una fluidez de dos a tres (2 a 3) centímetros; para ello se preparan pastillas de mortero colocando sucesivamente en un grupo de tres (3) plantillas de fieltro de ciento cincuenta (150) por ciento cincuenta (150) milímetros, una capa de mortero con espesor aproximado de seis (6) milímetros y después de permanecer las pastillas quince (15) minutos en un ambiente con temperatura de veinticinco más menos un grado centígrado ($25 \pm 1^{\circ}\text{C}$) y humedad relativa de cincuenta más menos cinco por ciento ($50 \pm 5\%$) se les coloca, inicialmente a intervalos de quince (15) minutos y después de tres (3) horas, a intervalos de treinta (30) minutos, un papel absorbente, presionándolo sobre la superficie de la pastilla; en el momento en que ésta deje de manchar de color café al papel, se registra el tiempo de fraguado inicial, en minutos.
- e) Para la determinación del tiempo de curado o endurecimiento, se preparan otras tres (3) pastillas de mortero de acuerdo con lo descrito en el párrafo d) de este inciso, excepto que el espesor de las pastillas será el mínimo que permita el tamaño máximo de las partículas del agregado, procurando un espesor uniforme. Después de

obtenido el fraguado inicial de las pastillas, se les aplica esfuerzo de torsión sucesivamente, mediante el probador de cohesión, Figura Núm. 98b, operándolo para que desarrolle una presión de dos (2) kilogramos sobre centímetro cuadrado, en la zapata de hule. Se efectuarán aplicaciones en lapsos de quince a treinta (15 a 30) minutos en lugares diferentes de la pastilla, para verificar que no haya desprendimiento de partículas al aplicar presión y lograr que permanezca constante la especificada o hasta que la zapata de hule corra libremente sobre el mortero de la pastilla sin que se presenten desprendimientos. El tiempo requerido para alcanzar dicha condición es el tiempo de curado o endurecimiento, en minutos.

f) Se repiten los pasos señalados en los párrafos b) a e) de este inciso, a mezclas que abarquen las demás proporciones de materiales consideradas en el estudio.

g) Los morteros con menor contenido de asfalto y en su caso, de cemento Portland o de cal hidratada, que en mejor forma cumplan con los requisitos previamente establecidos en cuanto a consistencia, tiempo de fraguado inicial y tiempo de curado o endurecimiento, serán seleccionados para verificarles su resistencia a la abrasión en húmedo, lo cual se llevará a cabo como a continuación se indica:

g1) La preparación de la muestra consiste en lo siguiente:

g1.a) Se prepara el mortero asfáltico aplicando las proporciones seleccionadas y siguien-

do el procedimiento descrito en el párrafo b) de este inciso.

g1.b) Se aplica sobre un (1) bloque de concreto una capa del mortero preparado, con el espesor mínimo que permita el tamaño máximo del material o bien, el espesor que se requiera estudiar, afinando dicha capa cuidadosamente y con poca manipulación para evitar su segregación; el exceso de mezcla contenida en el bloque deberá ser eliminado.

g1.c) Se introduce al horno el bloque con la muestra de prueba, a una temperatura de sesenta más menos tres grados centígrados ($60 \pm 3^{\circ}\text{C}$) y se seca hasta peso constante, lo cual podrá requerir aproximadamente veinticuatro (24) horas. A continuación se extrae del horno el espécimen y se deja enfriar a la temperatura ambiente.

g2) El procedimiento de prueba es el siguiente:

g2.a) Se pesa en seco el bloque con la muestra de prueba y se introducen al baño de agua durante sesenta a setenta y cinco (60 a 75) minutos, a una temperatura de veinticinco más menos un grado centígrado ($25 \pm 1^{\circ}\text{C}$).

g2.b) A continuación se saca del baño el bloque de prueba, se sujeta firmemente en la charola de la máquina de abrasión y se vacía en ésta el agua necesaria para tener un tirante de seis (6) milímetros, sobre el bloque mencionado.

- g2.c) Se eleva la plataforma hasta que toque el bloque de prueba con el elemento de abrasión y se acuña dicho bloque firmemente para que se mantenga en su posición durante la prueba.
- g2.d) Se hace funcionar la máquina de abrasión para que el elemento de ataque opere sobre la muestra de prueba durante cinco (5) minutos más menos dos (± 2) segundos, a una velocidad en la flecha de aproximadamente ciento cuarenta (140) revoluciones por minuto y sesenta (60) vueltas en el planetario.
- g2.e) Se retira el bloque de prueba de la máquina de abrasión y se procede a lavar la muestra, después de lo cual se introduce al horno en el bloque en que se encuentra, a una temperatura de sesenta más menos tres grados centígrados ($60 \pm 3^{\circ}\text{C}$) y se seca el conjunto hasta peso constante.
- g2.f) Se saca del horno el bloque con la muestra de prueba, se dejan enfriar a temperatura ambiente y a continuación se determina el peso del conjunto, con aproximación de un gramo.
- g3) En esta prueba se calcula y reporta lo siguiente:
 - g3.a) La diferencia entre el peso inicial y el peso final del bloque que contiene la muestra de prueba, expresándose dicho valor como pérdida por abrasión, en gramos

por decímetro cuadrado de superficie neta desgastada.

- g3.b) El contenido óptimo de asfalto con relación al material pétreo, para el buen comportamiento del mortero, en por ciento.
- g3.c) La cantidad de agua necesaria, con relación al material pétreo que requiere la mezcla para su consistencia adecuada, en por ciento.
- g3.d) Se reportarán observaciones generales respecto a segregación, empleo de finos adicionales, textura del mortero, contracción de la mezcla y otras que se juzguen de interés.

012-E DETERMINACION DE LOS PESOS VOLUMETRICOS DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS, Y DE LOS PORCENTAJES DE VACIO.

012-E.01 Para la determinación de los pesos volumétricos de las mezclas asfálticas, se tomarán en cuenta las definiciones y conceptos básicos que se describen en la cláusula (6.01.01.002-G) del Libro 6 de estas Normas, considerando que en este aspecto el acomodo y demás condiciones gravimétricas de las mezclas asfálticas, corresponden a las de una muestra alterada, en la que no solo influye la humedad, sino también los disolventes de los materiales asfálticos y la temperatura de la mezcla; bajo estas condiciones de integración se tienen los conceptos de peso volumétrico de la mezcla húmeda, γ_m , y peso volumétrico de la mezcla seca, γ_d . Por lo que se refiere a la compacidad de la mezcla asfáltica o grado de acomodo de sus partículas, se tienen los conceptos de:

peso volumétrico suelto, o sea el que presenta una mezcla al iniciar su proceso de compactación, el que tiene en un almacenamiento, en un camellón o en el vehículo de transporte; peso volumétrico en estado compacto, que es el de la mezcla cuando sus partículas han adquirido cierto acomodo mediante un proceso de compactación, ya sea en la obra o en el laboratorio. Al considerar estas condiciones de acomodo de las partículas en las mezclas asfálticas, se llega a conceptos importantes que relacionan el volumen ocupado por ellas, con los vacíos, ya sea del material pétreo o de la mezcla; éstas relaciones se utilizarán para el proyecto y verificación de calidad de las mezclas asfálticas, estableciéndose condiciones óptimas para sus diversas características que a continuación se tratan.

a) El peso específico teórico máximo de la mezcla es el que se le considera si no existieran vacíos entre sus partículas y su valor depende solamente de los pesos específicos aparentes del material asfáltico y del material pétreo.

a1) Para obtener el peso específico teórico máximo de una mezcla asfáltica, se determina previamente el peso específico aparente del material pétreo por inmersión en cemento asfáltico, siguiendo el procedimiento descrito en el inciso (010-F.02) de este Libro 6 y también la densidad del cemento asfáltico o del residuo asfáltico, según el tipo de asfalto que se utilice, siguiendo el procedimiento descrito en el inciso (011-C.02) del mismo Libro 6.

a2) Se calcula el peso específico teórico máximo de la mezcla asfáltica, aplicando la siguiente fórmula:

$$\gamma_{tm} = \frac{100}{\frac{A}{S_{CA} \gamma_o} + \frac{P}{S_P \gamma_o}}$$

En donde:

γ_{tm} es el peso específico teórico máximo de la mezcla asfáltica, en gramos por centímetro cúbico.

A es la proporción en peso de cemento asfáltico o de residuo asfáltico, con relación al de la mezcla, en por ciento.

P es la proporción en peso de material pétreo, con relación al de la mezcla, en por ciento.

S_{CA} es la densidad del cemento asfáltico, número abstracto.

S_p es la densidad aparente del material pétreo por inmersión en cemento asfáltico, número abstracto.

γ_o es el peso específico del agua, considerado en este caso de un (1) gramo por centímetro cúbico.

- b) El porcentaje de vacíos de la mezcla compactada corresponde al volumen de ésta que, en las condiciones de acomodo que tiene, no alcanza a ser ocupado por las partículas del material pétreo o por el asfalto que la integran; su valor debe mantenerse entre ciertos límites para garantizar,

por una parte, la impermeabilidad de la mezcla y por otra su estabilidad; la determinación de esta característica se basa en la comparación del volumen real de la mezcla, con respecto al que teóricamente tendría la misma si no quedaran huecos entre sus partículas.

b1) Para obtener el porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica compactada, se determina su peso volumétrico de acuerdo con lo indicado en los incisos (012-E.05) o (012-E.06) de este Capítulo, según corresponda, y se determina su peso específico teórico máximo, siguiendo el procedimiento descrito en el párrafo a) de este inciso.

b2) A continuación se calcula el porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica compactada, aplicando la siguiente fórmula:

$$VMC = 100 \left(1 - \frac{\gamma_{dc}}{1,000\gamma_{tm}} \right)$$

En donde:

VMC es la proporción de vacíos en la mezcla asfáltica compactada, en por ciento.

γ_{dc} es el peso volumétrico de la mezcla asfáltica compactada, en kilogramos por metro cúbico.

γ_{tm} es el peso específico teórico máximo de la mezcla asfáltica, en gramos por centímetro cúbico.

1,000 es el factor de conversión para hacer homogéneos los valores de los pesos

γ_{dc} y γ_{tm} .

c) El porcentaje de vacíos del material pétreo en la mezcla compactada, es la proporción en volumen de dicha mezcla que no está constituida por material pétreo y su valor permite juzgar si hay espacio suficiente para alojar la cantidad de asfalto que se requiere; la determinación de esta característica se realiza mediante la comparación del volumen de la mezcla y el que en la misma tiene el material pétreo.

c1) Para obtener el porcentaje de vacíos del material pétreo en la mezcla compactada, se determina su peso volumétrico de acuerdo con lo indicado en los incisos (012-E.05) o (012-E.06) de este Capítulo, según corresponda, y la densidad aparente del material pétreo por inmersión en cemento asfáltico, siguiendo el procedimiento que se describe en el inciso (010-F.02) de este Libro 6.

c2) A continuación se calcula el porcentaje de vacíos del material pétreo en la mezcla compactada, aplicando la siguiente fórmula:

$$VAM = 100 \left(1 - \frac{A \gamma_{dc}}{1,000 S_p \gamma_o} \right)$$

En donde:

VAM es la proporción de vacíos del material pétreo en la mezcla compactada, en por ciento.

A es el peso del material pétreo en la mezcla, en por ciento.

γ_{dc} es el peso volumétrico de la mezcla asfáltica compactada, en kilogramos por metro cúbico.

S_p es la densidad aparente del material pétreo, por inmersión en cemento asfáltico, número abstracto.

γ_o es el peso específico del agua, considerado en este caso de un (1) gramo por centímetro cúbico.

1,000 es el factor de conversión para hacer homogéneos los valores de los pesos γ_{dc} y γ_o .

012-E.02 La determinación del peso volumétrico de una mezcla asfáltica en estado suelto, consiste en obtener la relación entre su peso y el volumen que ocupa, de acuerdo con las condiciones de acomodo de la mezcla recién elaborada, antes de su compactación; el valor encontrado se corrige de acuerdo con el contenido de agua y solventes de la mezcla

- a) El equipo necesario para efectuar esta prueba es el mismo que se indica en el inciso (002-J.03) de este Libro 6, para la determinación del peso volumétrico de un suelo seco y suelto, requiriéndose además un par de guantes de asbesto, para utilizarlos en el caso de mezclas elaboradas en caliente.

b) La prueba se efectúa en la forma siguiente:

b1) De una muestra obtenida conforme a lo indicado en la cláusula (012-B) de este Capítulo y preparada de acuerdo a lo señalado en el párrafo c) del inciso (012-C.04), se toma por cuarteo la porción necesaria para llenar completamente el recipiente de diez (10) litros de capacidad.

b2) Empleando el cucharón de lámina se introduce la mezcla en el recipiente, dejándola caer desde una altura de veinte (20) centímetros, hasta que se llene, evitando que el material se reacomode por movimientos indebidos; después se procede a enrasar la mezcla utilizando la regla de treinta (30) centímetros.

b3) Se pesa el recipiente conteniendo la mezcla y se registra su peso, W_{rm} , con aproximación de cinco (5) gramos.

b4) Se determina el contenido de agua y disolventes de la mezcla, de acuerdo con lo indicado en la cláusula (012-J) de este Capítulo.

c) Se calcula el peso volumétrico de la mezcla suelta, por medio de la siguiente fórmula:

$$\gamma_{ds} = 100 \frac{W_{rm} - W_r}{V(100 + w + D)}$$

En donde:

γ_{ds} es el peso volumétrico de la mezcla suelta, en kilogramos por metro cúbico.

W_{rm} es el peso del recipiente conteniendo la mezcla, en kilogramos.

W_r es el peso del recipiente, en kilogramos.

V es el volumen de la mezcla contenida en el recipiente, en metros cúbicos.

w es el contenido de agua en la mezcla, en por ciento.

D es el contenido de disolventes en la mezcla, en por ciento.

012-E.03 La determinación del peso volumétrico de una mezcla asfáltica en el vehículo de transporte, consiste en obtener el peso de la mezcla cargada en uno de los vehículos de lo que se están utilizando en los trabajos de acarreo y en relacionar dicho peso con el volumen que ocupa la mezcla en las condiciones descritas. El peso volumétrico en el vehículo de transporte se utiliza en el cálculo de coeficientes de variación volumétrica, para conocer los volúmenes de acarreo, haciéndose notar que presenta variaciones de consideración, entre otras causas, por los contenidos de asfalto, disolventes y agua de la mezcla, el sistema de carga utilizado y las características del material pétreo; por lo anterior, su determinación debe realizarse en las condiciones que representen las de trabajo y durante la ejecución de la fase correspondiente de la obra. Con el fin de obtener datos representativos, en ningún caso

se harán menos de tres (3) determinaciones por cada tipo de mezcla.

- a) El equipo necesario para efectuar esta prueba es el que se indica en el párrafo b) del inciso (009-L.05) de este Libro 6, correspondiente a materiales para sub-base o base, requiriéndose además guantes de asbesto para utilizarlos en el caso de mezclas asfálticas elaboradas en caliente.
- b) La prueba se efectúa aplicando a la mezcla el procedimiento que se describe en el párrafo c) del inciso (009-L.05), para el caso de materiales de sub-base o base, excepto que se determina el contenido de agua y disolventes de la mezcla, de acuerdo con lo indicado en la cláusula (012-J) de este Capítulo.
- c) Se calcula el peso volumétrico de la mezcla en el vehículo de transporte, por medio de la siguiente fórmula:

$$\gamma_{ds} = 100 \frac{W_m}{V (100 + w + D)}$$

En donde:

γ_{ds} es el peso volumétrico de la mezcla suelta en el vehículo de transporte, en kilogramos por metro cúbico.

W_m es el peso de la mezcla contenida en el vehículo de transporte, en kilogramos.

V es el volumen de la mezcla contenida en el vehículo de transporte, en metros cúbicos.

w es el contenido de agua en la mezcla, en por ciento.

D es el contenido de disolventes en la mezcla, en por ciento.

012-E.04 La determinación del peso volumétrico de una mezcla asfáltica acamellonada, consiste en obtener el peso de la mezcla contenida entre dos secciones del camellón y en relacionar dicho peso con el volumen que ocupaba la mezcla en su condición original. Los resultados de esta prueba se utilizan en el cálculo de coeficientes de variación volumétrica y para este fin, en ningún caso se efectuarán menos de tres (3) determinaciones por cada tipo de mezcla asfáltica.

- a) El equipo necesario para efectuar esta prueba es el que se indica en el párrafo b) del inciso (009-L.07) de este Libro 6, correspondiente a materiales de sub-base y base.
- b) La prueba se efectúa aplicando a la mezcla el procedimiento que se describe en el párrafo c) del inciso (009-L.07), para el caso de materiales de sub-base o base, excepto que se determina el contenido de agua y disolventes de la mezcla, de acuerdo con lo indicado en la cláusula (012-J) de este Capítulo.
- c) Se calcula el peso volumétrico de la mezcla acamellonada, por medio de la siguiente fórmula:

$$\gamma_{da} = 100 \frac{W_m}{V (100 + w + D)}$$

En donde:

γ_{da} es el peso volumétrico de la mezcla asfáltica acamellonada, en kilogramos por metro cúbico.

W_m es el peso de la mezcla asfáltica contenida entre las secciones de prueba del camellón, en kilogramos.

V es el volumen de la mezcla contenida entre las secciones de prueba del camellón, en metros cúbicos.

w es el contenido de agua en la mezcla, en por ciento.

D es el contenido de disolventes en la mezcla, en por ciento.

012-E.05 La determinación del peso volumétrico de una mezcla asfáltica en la capa compactada, se efectúa practicando un sondeo y aplicando el procedimiento del cono y arena o el de la trompa y arena, que se describen para suelos en los incisos (002-J.04) y (002-J.05), respectivamente, de este Libro 6, excepto que se determina el contenido de agua y disolventes de la mezcla, de acuerdo con lo indicado en la cláusula (012-J) de este Capítulo y que el cálculo del peso volumétrico de la mezcla en la capa en que se encuentra compactada, se efectúa por medio de la siguiente fórmula:

$$\gamma_{dc} = 100 \frac{W_m}{V (100 + w + D)}$$

En donde:

γ_{dc} es el peso volumétrico de la mezcla asfáltica en la capa compactada, en kilogramos por metro cúbico.

W_m es el peso de la mezcla asfáltica extraída del sondeo, en kilogramos.

V es el volumen del sondeo de donde se extrajo la mezcla asfáltica, en metros cúbicos.

w es el contenido de agua en la mezcla asfáltica extraída del sondeo, en por ciento.

D es el contenido de disolventes en la mezcla asfáltica extraída del sondeo, en por ciento.

012-E.06 La determinación del peso volumétrico de especímenes de mezcla asfáltica labrados o elaborados como se describe en las cláusulas (012-B) y (012-D) de este Capítulo, se efectúa en el laboratorio aplicando el método de la parafina, que se describe en el inciso (002-J.07) de este Libro 6, con las siguientes excepciones:

- a) En cuanto al equipo requerido se incluirá adicionalmente: una balanza de cinco mil (5,000) gramos de capacidad con sensibilidad de un (1) gramo, equipada con un dispositivo para

determinar pesos sumergidos y además, estearato de zinc.

- b) En cuanto al procedimiento de prueba, antes de aplicarles parafina a los especímenes se les espolvorea estearato de zinc, el cual debe ser eliminado al retirar la parafina. Además, se determinará, en porciones adicionales de la misma mezcla, el contenido de agua y el de disolventes, de acuerdo con lo descrito en la cláusula (012-J) de este Capítulo, que se requieren para los cálculos de esta prueba.
- c) Se calcula el peso volumétrico del espécimen en estado seco, γ_{de} , aplicando la siguiente fórmula:

$$\gamma_{de} = 100 \frac{\gamma_m}{100 + w + D}$$

En donde:

γ_{de} es el peso volumétrico del espécimen en estado seco y sin disolventes, en kilogramos por metro cúbico.

γ_m es el peso volumétrico del espécimen húmedo y con disolventes, en kilogramos por metro cúbico.

w es el contenido de agua en la mezcla asfáltica del espécimen, en por ciento.

D es el contenido de disolventes en la mezcla asfáltica del espécimen, en por ciento.

012-F PRUEBAS DE COMPACTACION

012-F.01 La compactación de una mezcla asfáltica consiste en la aplicación mecánica de cierta energía o cantidad de trabajo por unidad de volumen, para lograr una reducción de los espacios entre sus partículas y de esta manera mejorar su estabilidad; la reducción de dichos espacios trae consigo un aumento en el peso volumétrico. De acuerdo con la naturaleza de las mezclas asfálticas y con el uso que se les pretenda dar, se establecen en esta Cláusula, en forma congruente con las pruebas utilizadas en el proyecto, procedimientos mediante los cuales se determina el peso volumétrico que sirve para referir y evaluar el que se alcanza en la obra con los equipos de construcción.

012-F.02 El peso volumétrico máximo de la mezcla compactada, que se utiliza para conocer el grado de acomodo que alcanza dicha mezcla en la capa construida, se determinará en muestras obtenidas de la mezcla asfáltica ya elaborada, bien sea en el laboratorio siguiendo el método de proyecto o en el campo con los procedimientos constructivos empleados y después de que la mezcla ha sido aceptada. Los tipos de compactación que se aplican en el laboratorio son los correspondientes a las pruebas de Compresión Axial, Extrusión, Marshall y de Hveem, que se describen en la cláusula (012-D) de este Capítulo, debiendo seleccionarse el método que corresponda, de acuerdo con los requisitos de proyecto de la mezcla, requiriéndose normalmente elaborar sólo un espécimen de prueba de cada muestra.

- a) Para determinar el peso volumétrico máximo correspondiente a la mezcla compactada,
 $\gamma_{dc \text{ máx}}$, proyectada por cualquiera de los méto-

dos antes citados, se preparará la cantidad de muestra requerida para hacer un espécimen de las dimensiones establecidas en cada caso; dicha muestra se pondrá a la temperatura y condiciones de curado fijadas por la prueba respectiva, después de lo cual se procede al moldeo del espécimen, aplicándole el proceso de compactación correspondiente; a continuación se deja enfriar, se extrae del molde y se le determina su peso volumétrico con el procedimiento descrito en el inciso (012-E.06) de este Capítulo, y al resultado se le designa como peso volumétrico máximo de la mezcla curada y compactada, $\gamma_{dc \text{ máx}}$, en kilogramos por metro cúbico. En la aplicación de esta parte del procedimiento se tendrá especial cuidado en obtener la muestra de prueba precisamente de las mezclas preparadas en el laboratorio o aceptadas y no alterar su representatividad; así también, mantener las temperaturas de compactación, condiciones de curado y aplicación de energía que establece la prueba respectiva.

012-G DETERMINACION DEL GRADO DE COMPACTACION

012-G.01 El procedimiento que se describe en esta Cláusula tiene por objeto determinar el grado de acomodo de las partículas de una mezcla asfáltica que está formando parte de una capa del pavimento, ya sea que ésta se encuentre en proceso de construcción o bien, se trate de una obra terminada; el método consiste fundamentalmente en relacionar el peso volumétrico en el lugar, γ_{dc} , de dicha mezcla, con el respectivo peso volumétrico máximo, $\gamma_{dc \text{ máx}}$, expresando el resul-

tado en por ciento; ambos pesos volumétricos deben corresponder a mezclas elaboradas con muestras de los mismos materiales en proporciones que se han admitido como equivalentes.

012-G.02 El grado de compactación se calcula en la forma siguiente:

- a) Se obtiene el peso volumétrico máximo de la mezcla compactada, $\gamma_{dc \text{ máx}}$, de acuerdo con el procedimiento indicado en el inciso (012-F.02) de este Capítulo.
- b) Se determina el peso volumétrico de la mezcla en el lugar, γ_{dc} , siguiendo uno de los métodos descritos en los incisos (012-E.05) o (012-E.06) de este Capítulo, de acuerdo con el tipo de mezcla asfáltica.
- c) Se calcula el grado de compactación de la mezcla asfáltica aplicando la siguiente fórmula:

$$G_c = 100 \frac{\gamma_{dc}}{\gamma_{dc \text{ máx}}}$$

En donde:

G_c es el grado de compactación de la mezcla asfáltica, en por ciento.

γ_{dc} es el peso volumétrico de la mezcla asfáltica en el lugar, en kilogramos por metro cúbico.

$\gamma_{dc \text{ máx}}$ es el peso volumétrico máximo de la mezcla asfáltica curada y compactada, en kilogramos por metro cúbico.

012-H DETERMINACION DE LOS COEFICIENTES DE VARIACION VOLUMETRICA

012-H.01 La determinación de los coeficientes de variación volumétrica en las mezclas asfálticas a que se refiere este Capítulo, se efectuará siguiendo el criterio indicado en la cláusula (012-M) de este Libro 6, excepto que en lugar de referirse a suelos y diversos materiales pétreos en bancos, almacenamientos y en la obra, los conceptos se aplican a mezclas asfálticas en estado suelto que se encuentran en las plantas de producción, acamellonadas y/o en el vehículo de transporte o bien, en estado compacto en las diversas capas construidas; por lo anterior, los pesos volumétricos que se aplican, serán obtenidos de acuerdo con lo descrito en la cláusula (012-E) de este Capítulo. Tomando en cuenta que el caso más común de esta determinación es el coeficiente de variación volumétrica de estado suelto en el vehículo de transporte a compacto en la capa construida, únicamente se describe esta variante, pudiendo calcularse en forma similar las demás alternativas que se requieran.

012-H.02 El coeficiente de variación volumétrica de estado suelto en el vehículo de transporte a estado compacto en la capa construida, se obtiene mediante la relación entre peso volumétrico en la condición inicial de la mezcla y el que la misma presenta en su estado final en la capa compactada, para lo cual se aplica el siguiente procedimiento:

- a) Se determina el peso volumétrico de la mezcla asfáltica suelta en el vehículo de transporte,

γ_{ds} , de acuerdo con lo descrito en el inciso (012-E.03) de este Capítulo, tomando en cuenta las restricciones que se hacen en dicho procedimiento, referentes a que la prueba se efectúe en las condiciones reales de trabajo, durante el tiempo que se esté realizando éste y que no se efectúen menos de tres (3) determinaciones para obtener datos representativos.

b) Se determina el peso volumétrico de la mezcla asfáltica en la capa compactada, γ_{dc} , de acuerdo con el procedimiento descrito en los incisos (012-E.05) o (012-E.06) de este Capítulo, según corresponda.

c) Se calcula el coeficiente de variación volumétrica de la mezcla asfáltica, de estado suelto en el vehículo de transporte a compactado en la capa construida, C_{sc} , aplicando la siguiente fórmula:

$$C_{sc} = \frac{\gamma_{ds}}{\gamma_{dc}}$$

En donde:

C_{sc} es el coeficiente de variación volumétrica de la mezcla asfáltica, de estado suelto en el vehículo de transporte a compacto en la capa construida, número abstracto.

γ_{ds} es el peso volumétrico de la mezcla asfáltica en el vehículo de transporte, en kilogramos por metro cúbico.

γ_{dc} es el peso volumétrico de la mezcla asfáltica en la capa compactada, en kilogramos por metro cúbico.

012-I DETERMINACION DEL CONTENIDO DE ASFALTO Y GRANULOMETRIA DEL MATERIAL PETREO EN MEZCLAS ASFALTICAS

012-I.01 Los métodos que se describen en esta Cláusula sirven para determinar el porcentaje de asfalto que contiene una mezcla asfáltica, ya sea recién elaborada o bien, que forme parte de una capa construida con anterioridad; consisten fundamentalmente en separar por dilución el cemento o residuo asfáltico de las partículas de agregado pétreo, para cuantificar cada uno de estos dos elementos y determinar la proporción en que se encuentran en la mezcla. Al agregado pétreo libre de asfalto se le determina su composición granulométrica y también, en algunos casos, se podrá recuperar el asfalto para estudiar sus características. Los procedimientos son: el método colorimétrico, el de recirculación de disolventes en caliente y el de extracción por medio de centrifugado; los dos (2) primeros se aplicarán principalmente en la verificación del contenido de cemento asfáltico y en el control de elaboración de las mezclas, limitándose el segundo a mezclas sin disolventes; el procedimiento mencionado en último término es un método menos preciso y se utilizará principalmente en la determinación de la composición granulométrica citada.

012-I.02 En este inciso se describe el método colorimétrico para determinar el contenido de residuo o cemento asfáltico en las mezclas, expresándolo como porcentaje en peso respecto al del material pétreo; el

procedimiento se basa en la observación del color que presentan diluciones en tricloroetileno o tetracloruro de carbono procedentes del lavado de la mezcla estudiada, comparándolas con colores tipo de concentración conocida, preparadas previamente con alguno de dichos disolventes y asfalto del empleado para elaborar la mezcla mencionada. Como los colores tipo sufren variaciones por diferentes motivos al transcurrir el tiempo, dejan de ser congruentes con los contenidos que representan; por esta razón, deberán reponerse, para a su vez tomar en cuenta los efectos en el color originados por los diferentes materiales asfálticos que se van utilizando en la obra.

- a) El equipo y materiales necesarios para efectuar esta prueba, son los siguientes:

Colorímetro foto-eléctrico de lecturas directas proporcionales a la concentración, provisto de ajuste en cero y controles para compensar variaciones de voltaje, con probetas y filtros para su operación; o bien, un comparador de colores de luz directa, de vidrio no pulido, con su juego de tubos de ensaye con tapa esmerilada y ampolletas de cristal suficientes para manejar las concentraciones tipo.

Tubos de ensaye aforados a un volumen de veinte (20) centímetros cúbicos.

Balanza de dos (2) kilogramos de capacidad y cero punto un (0.1) gramo de aproximación.

Balanza de cien (100) gramos de capacidad y cero punto cero un (0.01) gramo de aproximación.

Cuchara chica de albañil.

Parrilla eléctrica o fuente de calor similar, provista de controles para graduar la temperatura.

Pipeta graduada de dos (2) centímetros cúbicos de capacidad.

Matraz aforado de mil (1,000) centímetros cúbicos, con tapón esmerilado.

Frasco de vidrio con tapa, de mil (1,000) y dos mil (2,000) centímetros cúbicos de capacidad, respectivamente.

Tricloroetileno o tetracloruro de carbono.

Charolas de lámina.

- b) La preparación de los colores o soluciones tipo para comparación, se efectúa seleccionando de la Tabla XVII la cantidad de cemento o residuo asfáltico en gramos, correspondiente al porcentaje que se desea identificar o que se estime contiene la mezcla, tomando como base muestras de quinientos (500) gramos de peso y seleccionando en más y en menos suficientes valores para cubrir las variaciones del contenido de asfalto, según el tipo de mezcla y/o estudio que se vaya a realizar, y se procede a preparar cada uno de los colores tipo de acuerdo con lo siguiente:

- b1) De una muestra de cemento asfáltico o bien de residuo asfáltico obtenido previamente por destilación de los productos, de acuerdo con

los procedimientos descritos en el Capítulo (6.01.03.011) de este Libro 6, se toma una de las cantidades, (N), correspondiente a la proporción seleccionada, se pesa con aproximación de cero punto cero un (0.01) gramo, se coloca en un matraz aforado de mil (1,000) centímetros cúbicos y se le agrega tricloroetileno o tetracloruro de carbono hasta la marca de aforo; en seguida se tapa el matraz y se agita suficientemente hasta disolver el material asfáltico.

- b2) Se toman con la pipeta dos (2) centímetros cúbicos de la solución últimamente referida, se vierten en un tubo aforado de veinte (20) centímetros cúbicos y se agrega el disolvente seleccionado hasta llegar a la marca de aforo; se agita para obtener una solución homogénea cuya concentración en estas condiciones será de (N) gramos de cemento o residuo asfáltico, en diez mil (10,000) centímetros cúbicos de disolvente.
- b3) Se toman dos (2) centímetros cúbicos de esta solución y se colocan en un tubo de ensaye de veinte (20) centímetros cúbicos; en seguida se agrega el disolvente seleccionado hasta completar este volumen y se homogeneiza la solución cuya concentración será de (N) gramos de residuo o cemento asfáltico en cien mil (100,000) centímetros cúbicos de disolvente. Con esta solución se llena una ampollita la cual después de cerrarse herméticamente se marca con el por ciento de cemento o residuo asfáltico que representa, tomando el dato de la

Tabla XVII, quedando así elaborado el primer color tipo de la serie requerida.

- b4) Se elaboran sucesivamente cada uno de los colores tipo faltantes, utilizando las demás cantidades de cemento o residuo asfáltico seleccionadas y siguiendo el procedimiento descrito en los subpárrafos b1) a b3) de este pá-

TABLA XVII PROPORCIONES DE CEMENTO ASFALTICO PARA DIVERSOS CONTENIDOS DE UNA MEZCLA DE 500 GRAMOS.

Proporción en peso de cemento asfáltico o de residuo asfáltico en la mezcla, respecto al agregado pétreo. %	Contenido de cemento asfáltico o de residuo asfáltico en 500 gramos de mezcla. g (N)
2.0	9.80
2.5	12.19
3.0	14.56
3.5	16.91
4.0	19.23
4.5	21.53
5.0	23.81
5.5	26.07
6.0	28.30
6.5	30.52
7.0	32.71
7.5	34.88
8.0	37.04
8.5	39.17
9.0	41.28
9.5	43.38
10.0	45.45

rrafo. Una vez preparada la serie de colores tipo se colocan en una caja o estuche para preservarlos y se guardan en un lugar apropiado para protegerlos del calor y de la luz, mientras no son utilizados.

- c) El procedimiento de prueba es como se indica a continuación:
 - c1) De una muestra de mezcla asfáltica obtenida como se indica en la cláusula (012-B) de este Capítulo y preparada como se describe en el inciso (012-C.04), se toma por cuarteo una porción representativa de mil (1,000) gramos aproximadamente, se coloca en una charola y se calienta durante el tiempo necesario para evaporar los disolventes y el agua que contiene; se removerá constantemente la mezcla con la espátula o cuchara de albañil, para evitar sobrecalentamientos que pudieran afectar las características de la mezcla.
 - c2) A continuación, se toma uno de los frascos de dos (2) litros de capacidad, cuyo peso se habrá determinado previamente con aproximación de cero punto un (0.1) gramo y se pesan en él, con la aproximación citada, quinientos (500) gramos de mezcla asfáltica, lo que constituirá la muestra de prueba.
 - c3) En seguida se vierten en el frasco que contiene la muestra de prueba, mil (1,000) centímetros cúbicos de tricloroetileno o tetracloruro de carbono; se cierra herméticamente el frasco que contiene la mezcla y se agita vigorosamente hasta que se disuelva el asfalto que

contiene la muestra y el material pétreo se observe limpio sin partículas de asfalto; a continuación, se dejan en reposo por un período mínimo de quince (15) minutos para que se sedimenten las partículas finas y no se afecten los resultados de la prueba.

c4) Se toman de la parte superior del líquido que se encuentra en el frasco, por medio de la pipeta volumétrica, dos (2) centímetros cúbicos y se vierten en uno de los tubos de ensaye aforados a veinte (20) centímetros cúbicos; en seguida se llena el tubo de ensaye con el disolvente seleccionado, hasta la marca de calibración, después de lo cual se tapa la boca del tubo, se invierte varias veces y se mueve hasta homogeneizar su contenido. En esta segunda dilución se habrá obtenido una concentración de (N) gramos de cemento o residuo asfáltico en diez mil (10,000) centímetros cúbicos de disolvente.

c5) Se hace una tercera dilución tomando de la segunda, por medio de la pipeta volumétrica, dos (2) centímetros cúbicos, se colocan en otro tubo de ensaye aforado a veinte (20) centímetros cúbicos, se completa su volumen llenándolo hasta la marca de aforo con el disolvente seleccionado, después de lo cual se homogeneiza el contenido en la forma descrita en el subpárrafo c4) de este párrafo. esta tercera dilución tiene una concentración de (N) gramos de cemento o residuo asfáltico en cien mil (100,000) centímetros cúbicos de disolvente, que es precisamente la de los colores tipo y por lo tanto son comparables.

- c6) A continuación y sin dar tiempo a que se afecte la concentración por volatilización del disolvente, se llena una ampollita, con parte de esta tercera dilución y se procede a efectuar la comparación colorimétrica para determinar cual de los colores tipo coincide en intensidad con el de la dilución obtenida de la muestra de mezcla asfáltica.
- c7) El porcentaje de cemento o residuo asfáltico del color tipo que coincide con el de la ampollita de prueba, es el contenido de asfalto de la mezcla en estudio, expresado como por ciento en peso respecto al del material pétreo que contiene la mezcla, pudiendo hacerse interpolaciones entre dos colores tipo, y aproximando al décimo el valor de la proporción o porcentaje de asfalto contenido en la mezcla.
- d) Las precauciones que se deben tener en esta prueba, son las siguientes:
 - d1) Verificar que los cierres de las ampollitas de los colores tipo queden perfectamente herméticos para evitar fugas.
 - d2) Los colores tipo únicamente se expondrán a la luz el tiempo necesario para hacer las comparaciones, con objeto de preservarlos de cambios en su coloración, debiendo reponerse como máximo cada dos (2) meses, siempre que no ocurran otros cambios que obliguen a hacerlo antes.
 - d3) Observar frecuentemente las soluciones de los colores tipo para verificar que no presenten

turbiedad y de ser así, se repondrán los colores defectuosos con soluciones recientemente elaboradas.

d4) Efectuar tanto la preparación de materiales como el procedimiento de prueba en un lugar con ventilación adecuada.

d5) En caso de tener que variar el tamaño de la muestra de prueba para ajustarse a necesidades de la obra, no utilizar muestras con peso inferior a doscientos cincuenta (250) gramos y además, calcular las nuevas tablas de pesos de cemento o residuo asfáltico, de acuerdo con el peso seleccionado de la muestra y preparar los nuevos colores tipo, debiendo quedar estas series perfectamente identificadas para tomar en cuenta la modificación del peso de la muestra.

d6) Preparar los colores tipo para cada mezcla en particular y en caso de que se cambien los materiales o se estime que éstos han sufrido variaciones significativas, se deberá preparar una nueva serie de colores tipo, identificándola debidamente y descartando la serie anterior.

012-I.03 Para llevar a cabo la prueba de extracción de asfalto de una mezcla por medio de disolventes en caliente, se deberá tomar en cuenta lo siguiente:

a) Este método permite la separación y cuantificación del asfalto y del material pétreo de las mezclas elaboradas con cemento asfáltico o que no contiene disolventes, mediante su lavado en caliente con un disolvente; la prueba

consiste en colocar porciones de la mezcla objeto de estudio en depósitos de malla o metálicos, instalados dentro de un recipiente cilíndrico de vidrio, el cual a la vez que sirve de cubierta y apoyo de los recipientes que contienen la muestra, permite calentar el disolvente de lavado. La tapa del recipiente tiene adaptado un refrigerante cónico o de serpentín, para condensar el disolvente que cae en forma de gotas sobre la muestra, separando el asfalto del material pétreo; la cantidad de asfalto extraída se cuantifica y se expresa como contenido de la mezcla en por ciento, respecto al peso del agregado o material pétreo.

- b) El equipo y materiales necesarios para efectuar esta prueba son los siguientes: Aparato de extracción por el sistema de conos de filtrado, compuesto de un recipiente o jarra de vidrio resistente al calor, de forma cilíndrica, con quince (15) centímetros de diámetro y cuarenta y cinco (45) centímetros de altura. Dos conos de malla metálica del Núm. 1.7 a 2.0, con diámetro de ciento quince (115) milímetros en su base y ciento setenta y un (171) milímetros de altura, montados en dos (2) soportes cilíndricos de metal, con diámetro interior de ciento veintisiete (127) milímetros y altura igual a la de los conos de malla. Condensador con superficie esférica adaptado para que a la vez funcione como tapa del recipiente, de ciento sesenta (160) milímetros de diámetro.

O bien, el siguiente aparato de lavado por inmersión. Recipiente de cristal refractario con la forma y dimensiones similares a las que se

ilustran en la Figura Núm. 100, adecuado para controlar el disolvente en las operaciones de calentamiento y lavado, y que sirve a la vez de soporte al refrigerante metálico y al recipiente que contiene la muestra de prueba; este último estará provisto de una malla y un sistema de sifón, para desalojar el disolvente en forma intermitente. El aparato estará provisto de una tapa adaptada a la boca del recipiente; en dicha tapa va montado un condensador metálico

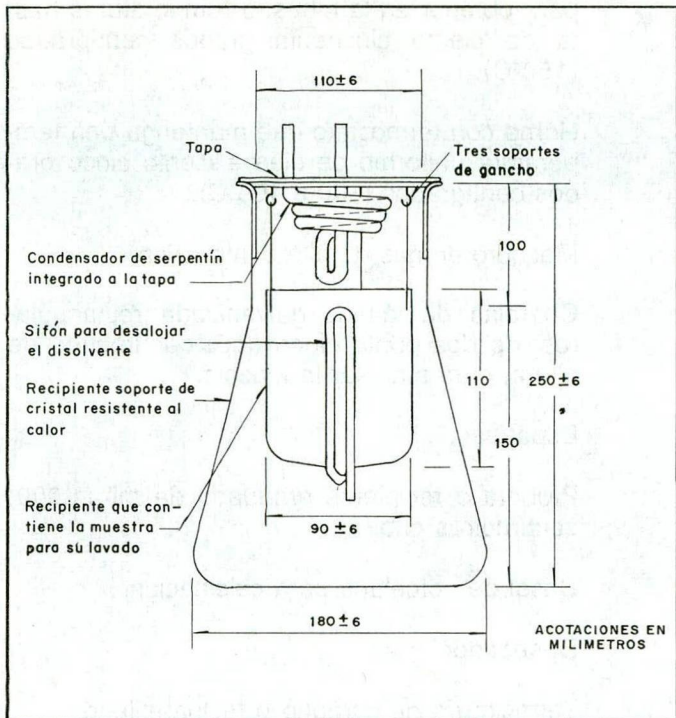


FIGURA NUM.- 100 APARATO DE EXTRACCION CON SERPENTIN DE CONDENSACION.

de serpentín, como el que se ilustra en la figura mencionada.

Recipiente para captar el disolvente drenado.

Balanza con capacidad de cinco (5) kilogramos y cero punto un (0.1) gramo de aproximación.

Parrilla eléctrica o mechero de gas con control para graduar el calor y capacidad suficiente para obtener en la muestra temperaturas hasta de ciento cincuenta grados centígrados (150°C).

Horno con termostato que mantenga una temperatura uniforme de cien a ciento cinco grados centígrados (100 a 105°C).

Mechero de gas de alta combustión.

Charolas de lámina galvanizada rectangulares, de dos punto cinco (2.5) centímetros de altura, para manejar la mezcla.

Espátulas.

Probeta o recipiente graduado de mil (1,000) centímetros cúbicos.

Crisol de porcelana para calcinación.

Desecador.

Tetracloruro de carbono o tricloroetileno.

Cloruro de calcio anhidro.

Papel filtro de forma circular con diámetro de treinta y tres (33) centímetros, de filtrado rápido y de textura adecuada para la retención de partículas finas, similar al Whattman Núm. 2.

Solución de carbonato de amonio saturado.

c) El procedimiento de prueba es como se indica a continuación:

c1) Cuando se utilice el aparato de extracción por el sistema de conos, se tomará en cuenta lo siguiente:

c1.a) De una muestra de mezcla asfáltica obtenida como se indica en la cláusula (012-B) y preparada como se describe en el inciso (012-C.04) de este Capítulo, se toma por cuarteo una porción representativa de dos mil quinientos (2,500) gramos aproximadamente, se coloca en una charola y se calienta a ciento cinco más menos cinco grados centígrados ($105 \pm 5^{\circ}\text{C}$) durante el tiempo necesario para evaporar el agua que contenga, removiendo la muestra constantemente con la espátula o cuchara de albañil, para evitar sobrecalentamientos.

c1.b) Se secan al horno dos (2) hojas de papel filtro y se doblan cada una varias veces por sus radios, después de lo cual se abren y adaptan a la superficie interior de los conos de malla metálica del aparato de extracción.

- c1.c) Se identifica cada uno de los soportes con un número y a continuación se le determina su respectivo peso, incluyendo el correspondiente cono y papel filtro, con aproximación de cero punto cinco (0.5) gramos, registrando su peso como W_1 .
- c1.d) De la porción de mezcla preparada como se indica en el sub-subpárrafo c1.a) de este subpárrafo se toman por cuarteo muestras de prueba de quinientos (500) gramos aproximadamente y se colocan en cada uno de los conos revestidos interiormente con su papel filtro y a continuación se pesan nuevamente los soportes incluyendo la mezcla de prueba, con aproximación de cero punto cinco (0.5) gramos y se registra su peso como W_2 , en gramos.
- c1.e) Se colocan en el recipiente de vidrio quinientos (500) centímetros cúbicos del disolvente, se introduce en éste el soporte correspondiente a la sección inferior llevando insertado el cono con el papel filtro, conteniendo la primera porción de prueba y quedando de tal forma que el nivel del disolvente no llegue al vértice o parte más baja de dicho cono. Se toma el soporte correspondiente a la sección superior insertando el cono con el papel filtro que contendrá la segunda porción de la mezcla de prueba; este último conjunto se coloca sobre la sec-

ción inferior, cuidando que quede firmemente asegurado y en su posición correcta. Si el disolvente cubre la parte del vértice del cono inferior, se extrae la cantidad necesaria de dicho disolvente para que no llegue a tocarlo.

c1.f) Se coloca el aparato de extracción montado y conteniendo las muestras de mezcla, sobre la fuente de calor y se le ajusta cuidadosamente la tapa-condensador; se hace circular agua fría con flujo uniforme a través del condensador y en seguida se ajusta el calor de la parrilla, de tal manera que el disolvente gradualmente se volatilice y pueda condensarse paulatinamente para que gotee dentro del cono superior en forma constante, sin que se derrame por los bordes del cono de papel filtro. Establecida la circulación del disolvente en la forma mencionada, el cemento asfáltico disuelto será separado de la mezcla y depositado en la parte inferior del recipiente.

c1.g) Se continúa la extracción del asfalto hasta que el disolvente que escurre por la parte más baja del cono inferior tenga un ligero color paja cuando se ve contra un fondo blanco; cuando esto ocurra, se suspende la aplicación del calor sin detener el flujo de agua del condensador y se deja el dispositivo en estas condiciones hasta que el recipiente se enfríe para poderse manejar.

- c1.h) Se sacan del recipiente de vidrio los respectivos soportes con su cono y papel filtro conteniendo el agregado pétreo de las porciones de prueba; se secan al aire dichos elementos el tiempo suficiente para volatilizar el exceso de disolvente y a continuación se secan a peso constante introduciéndolos en el horno a la temperatura de cien a ciento cinco grados centígrados (100 a 105°C) y se registra su peso como W_3 , con aproximación de cero punto un (0.1) gramo.
- c1.i) Se pasa la solución de asfalto extraído a un recipiente graduado de mil ($1,000$) centímetros cúbicos, integrándole los residuos del recipiente de cristal en el que estaba depositada, mediante un lavado adicional con disolvente limpio; se determina el volumen de la solución en el recipiente graduado y se registra como V_1 , en centímetros cúbicos.
- c1.j) Se mezcla perfectamente la solución extraída y de inmediato se toma una muestra con volumen, V_2 , de aproximadamente cien (100) centímetros cúbicos, en el crisol de porcelana cuyo peso se determina previamente con aproximación de cero punto cero un (0.01) gramo, registrándolo como W_4 ; se seca al aire dicha muestra para volatilizar el exceso de disolvente y a continuación se calcina el residuo en el crisol a una temperatura de quinientos a seiscientos grados centígrados (500 a 600°C). Se

deja enfriar y se adiciona solución de carbonato de amonio saturado, en una proporción de cinco (5) centímetros cúbicos por cada gramo de cenizas. En estas condiciones se deja el crisol a la temperatura ambiente por una hora y a continuación se seca en el horno a la temperatura de cien grados centígrados (100°C) hasta peso constante; se enfría en el desecador y se pesa, registrando dicho peso como W_5 , con aproximación de cero punto cero un (0.01) gramo.

c2) Cuando se utilice el aparato de extracción por el sistema de lavado por inmersión, se tomará en cuenta lo siguiente:

c2.a) De una muestra de mezcla asfáltica obtenida como se indica en la cláusula (012-B) y preparada como se describe en el inciso (012-C.04) de este Capítulo, se toma por cuarteo una porción representativa de dos mil quinientos (2,500) gramos aproximadamente, se coloca en una charola y se calienta a ciento cinco más menos cinco grados centígrados ($105 \pm 5^{\circ}\text{C}$) durante el tiempo necesario para evaporar el agua que contenga; se remueve la muestra constantemente con la espátula o cuchara de albañil, para evitar sobrecalentamiento.

c2.b) Se seca al horno una (1) hoja de papel filtro y se dobla varias veces por sus radios, después de lo cual se abre y se coloca adaptándola a la superficie inte-

rior del recipiente metálico en que se lava la muestra; se determina el peso del recipiente con el papel filtro instalado y se anota como W_1 , con aproximación de cero punto un (0.1) gramo.

c2.c) De la porción de mezcla preparada como se indica en el sub-subpárrafo c2.a) de este subpárrafo, se toma por cuarteo una muestra de prueba de quinientos (500) gramos aproximadamente, se coloca en el recipiente de lavado recubierto con el papel filtro y a continuación se pesa el recipiente de lavado incluyendo la mezcla de prueba y el papel filtro, con aproximación de cero punto un (0.1) gramo, registrando su peso como W_2 , en gramos.

c2.d) Se colocan en el recipiente de cristal ochocientos (800) centímetros cúbicos del disolvente y se instala en el recipiente referido su tapa, sujetándola con los ganchos respectivos, Figura Núm. 100.

c2.e) Se coloca sobre la parrilla eléctrica el aparato de extracción montado y conteniendo la muestra de mezcla, cuidando que queden debidamente ajustados la tapa-condensador y el recipiente de lavado; se hace circular agua fría a través del condensador, con flujo uniforme; y en seguida se ajusta el calor de la parrilla de tal manera que el disolvente se ponga en ebullición suavemente y gotee

dentro del recipiente de lavado en forma constante cuando se condensa y sin que derrame por los bordes del papel filtro. Establecida la circulación de disolventes en la forma mencionada, el cemento asfáltico disuelto será separado de la mezcla y depositado en la parte inferior del recipiente de cristal.

c2.f) Se continúa la extracción del asfalto hasta que el disolvente que escurre por el sifón del recipiente de lavado tenga un ligero color paja al verlo contra un fondo blanco; cuando esto ocurra, se suspende la aplicación del calor sin detener el flujo de agua del condensador y se deja el dispositivo en estas condiciones hasta que el recipiente de cristal enfríe lo suficiente para poderse manejar.

c2.g) Se saca del recipiente de cristal el depósito con el papel filtro y la muestra lavada, separando también la tapa-condensador; se secan al aire dichos elementos, el tiempo suficiente para volatilizar el exceso de disolvente y a continuación se secan a peso constante introduciéndolos en el horno a la temperatura de cien a ciento cinco grados centígrados (100 a 105°C), y se registra su peso como W_3 , con aproximación de cero punto un (0.1) gramo.

c2.h) Se transfiere la solución de asfalto extraído a un recipiente graduado de mil

(1,000) centímetros cúbicos, integrándole los residuos del recipiente de cristal en que estaba depositada, mediante un lavado adicional con disolvente limpio. Se determina el volumen total de solución en el recipiente graduado y se registra como V_1 , en centímetros cúbicos.

- c2.i) Se mezcla perfectamente la solución extraída y de inmediato se toma una muestra con volumen V_2 , de aproximadamente cien (100) centímetros cúbicos, en el crisol de porcelana cuyo peso se determina previamente con aproximación de cero punto cero un (0.01) gramo, registrándolo como W_4 ; se seca al aire para volatilizar el exceso de disolvente y a continuación, se calcina el residuo a una temperatura de quinientos a seiscientos grados centígrados (500 a 600°C). Se deja enfriar y se adiciona solución de carbonato de amonio saturado, en una proporción de cinco (5) centímetros cúbicos por cada gramo de cenizas. En estas condiciones se deja el crisol a la temperatura ambiente por una hora y a continuación, se seca en el horno a la temperatura de cien grados centígrados (100°C) hasta peso constante; se enfría en el desecador y se pesa, registrando dicho peso como W_5 , con aproximación de cero punto cero un (0.01) gramo.

- d) Los cálculos y reportes que deberán efectuarse en esta prueba, son los siguientes:

- d1) Se calcula el peso de las cenizas contenidas en la muestra de la solución obtenida en la extracción del asfalto, por medio de la siguiente fórmula:

$$W_c = \frac{(W_5 - W_4) V_1}{V_2}$$

En donde:

W_c es el peso de las cenizas contenidas en el volumen total de la solución obtenida en la extracción del asfalto, en gramos.

W_5 es el peso del crisol con las cenizas, correspondientes a la muestra de la solución de asfalto, en gramos.

W_4 es el peso del crisol, en gramos.

V_1 es el volumen total de la solución de asfalto incluyendo el disolvente de lavado, en centímetros cúbicos.

V_2 es el volumen inicial de la muestra de solución en que se efectúa la calcinación, en centímetros cúbicos.

- d2) Se calcula el porcentaje de asfalto en la muestra, por medio de la siguiente fórmula:

$$A = \frac{(W_2 - W_3) - W_c}{W_3 - W_1 + W_c} 100$$

En donde:

- A es el contenido de asfalto en la muestra de mezcla, respecto al peso del material pétreo seco, en por ciento.
- W_1 es el peso de los soportes, cono y papel filtro, o bien, el del recipiente y papel filtro, dependiendo del tipo de extractor, en gramos.
- W_2 es el peso de los soportes, conos, papeles filtro y las mezclas de prueba respectivas; o bien, para el lavado por inmersión, el peso de la mezcla de prueba, más el del recipiente y el papel filtro, en gramos.
- W_3 es el peso de los soportes, conos, papeles filtro y los respectivos materiales pétreos lavados y secos; o bien, para el lavado por inmersión, el peso del material pétreo lavado y seco con el recipiente de lavado y el papel filtro, en gramos.
- W_c peso de las cenizas contenidas en el volumen total de la solución extraída, en gramos.
- d3) Se reporta como contenido de asfalto o residuo asfáltico en la mezcla, el valor de A, calculado como se describe en el subpárrafo d2) de este párrafo y corresponderá exclusivamente a la muestra ensayada, debiendo hacerse el número de determinaciones que se requiera, de acuerdo con el volumen y condiciones en que se encuentre la mezcla, pero en ningún

caso se harán menos de tres (3) determinaciones; en el caso de las mezclas con tamaños máximos mayores de veinticinco (25) milímetros o que tengan alguna otra particularidad que lo haga necesario, podrá incrementarse el peso de la muestra hasta mil (1,000) gramos como máximo.

e) Al efectuar esta prueba se deberán tomar en cuenta las siguientes precauciones:

e1) Trabajar en un lugar debidamente ventilado y con las adaptaciones necesarias para expulsar del ambiente de trabajo, en forma eficaz, los materiales volatilizados.

e2) Ajustar cuidadosamente los elementos del aparato de extracción para evitar escapes de disolventes, debiendo manejarse éstos en forma conveniente para evitar la contaminación del ambiente.

e3) Cuidar que el calor se aplique en forma gradual al aparato de extracción, para evitar que se derrame el disolvente y origine impresiones en la prueba o bien, que se causen daños al recipiente de cristal, por sobrecalentamiento.

012-I.04 El procedimiento de extracción por medio de centrifugado para verificación de la granulometría consiste en someter a la muestra de prueba a un proceso de lavado con tricloroetileno, tetracloruro de carbono o benceno, utilizando un aparato especialmente adaptado para el objeto, a efecto de obtener el agregado pétreo de la muestra libre de asfalto y determinar su

composición granulométrica; así también, se obtiene la cantidad aproximada de asfalto contenido en la muestra, para estimar su proporción en peso con relación al del agregado pétreo de la mezcla.

a) El equipo y materiales necesarios para efectuar esta prueba son los siguientes:

Aparato de extracción por centrifugado, que consiste en un tazón semiesférico con tapa hermética, montado en un dispositivo que lo haga girar con una velocidad controlada superior a tres mil seiscientas (3,600) revoluciones por minuto; estará provisto de una cubierta hermética y de un accesorio para drenar el disolvente, Figura Núm. 101.

Recipiente para depositar el disolvente drenado.

Horno con dispositivo adecuado para mantener una temperatura comprendida entre cien y ciento cinco grados centígrados (100 y 105°C).

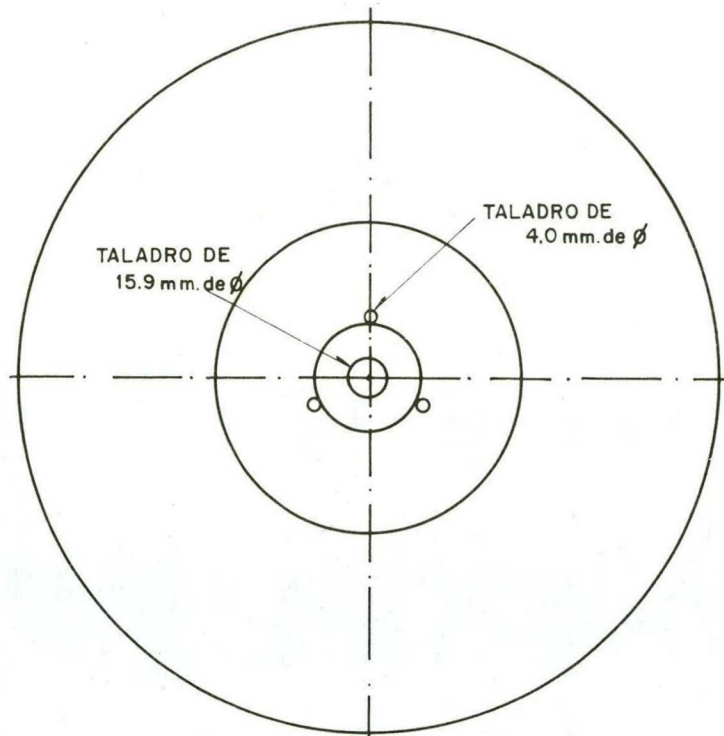
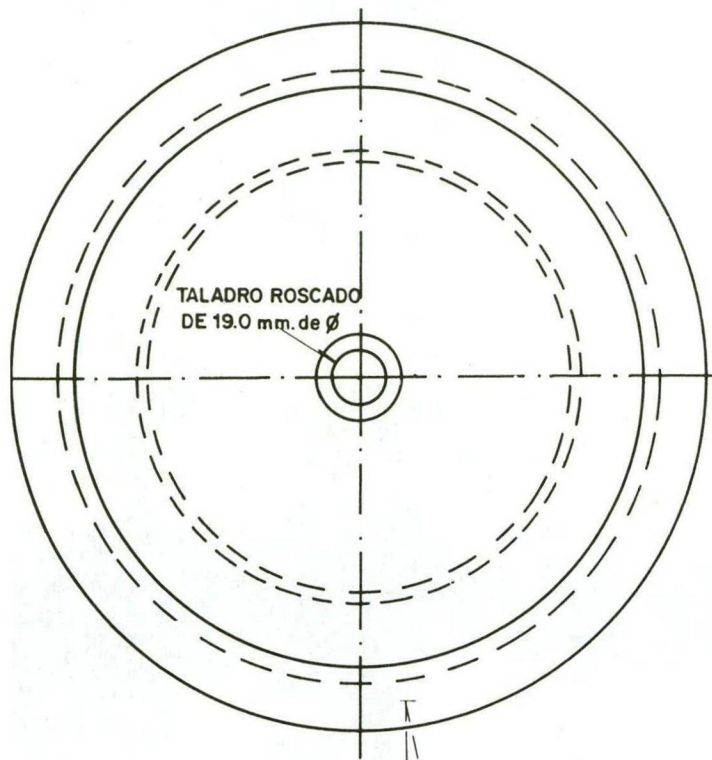
Balanza con capacidad de cinco (5) kilogramos y aproximación de cero punto dos (0.2) gramos.

Charolas redondas de treinta (30) centímetros de diámetro y dos punto cinco (2.5) centímetros de altura.

Charolas rectangulares.

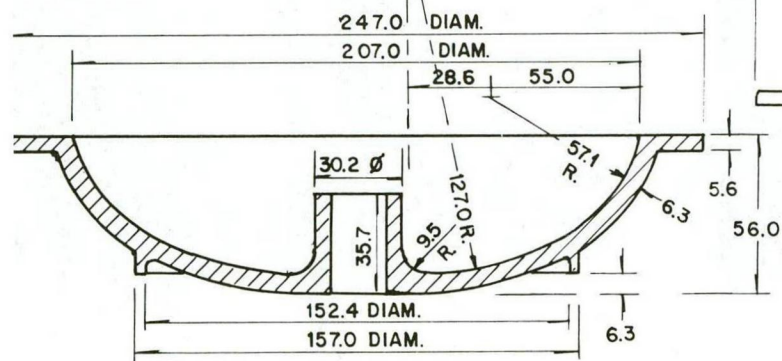
Espátulas.

Cucharones.

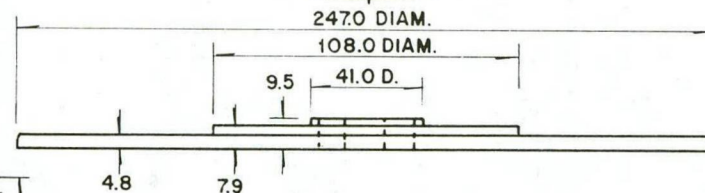


MATERIAL: ALUMINIO COLADO Y
PULIDO INTERIORMENTE.

ACOTACIONES EN MILIMETROS



TAZON



PLACA DE CUBIERTA

FIGURA NUM. 101.-TAZON PARA EL APARATO DE EXTRACCION POR CENTRIFUGADO

Tricloroetileno o tetracloruro de carbono o benceno.

Papel filtro de forma circular con perforación central y diámetro adecuado para apoyar en el borde superior del tazón del aparato de extracción.

- b) De una muestra obtenida como se indica en la cláusula (012-B) y debidamente preparada como se describe en el inciso (012-C.04) de este Capítulo, se toma primeramente por cuarto una porción de quinientos (500) gramos, a la que se le determina su contenido de agua, siguiendo el procedimiento descrito en el inciso (012-J.02) de este Capítulo; además, se toma otra porción de dos mil quinientos (2,500) gramos aproximadamente, a la cual se le determina su peso W y se registra en gramos, siendo ésta propiamente la muestra de prueba en este procedimiento.
- b1) Para facilitar la homogeneización de la muestra se coloca ésta en una charola rectangular y se disgrega con una espátula o un cucharón, separando las partículas de la mezcla cuanto sea posible y teniendo cuidado de no romper el agregado pétreo. Si la mezcla no es suficientemente blanda para poderla disgregar, se calienta durante el tiempo indispensable para que pueda manejarse, sin rebasar la temperatura de ciento cinco grados centígrados (105°C).
- c) El procedimiento de prueba es el siguiente:
 - c1) Se coloca la muestra de prueba en el tazón del aparato de centrifugado, se le vacía un volu-

men suficiente de tricloroetileno, tetracloruro de carbono o benceno, para cubrir la mezcla contenida en el tazón y se le deja en estas condiciones el tiempo suficiente para desintegrarla, el cual no será mayor de una (1) hora; en seguida se instala el tazón conteniendo la mezcla con el disolvente, en el aparato de centrifugado y se coloca sobre el borde del tazón un disco de papel filtro, cuyo peso seco, W_p , en gramos, es conocido. A continuación se cubre el tazón con su tapa, se asegura ésta firmemente y se coloca a la salida del dren del aparato de extracción un recipiente adecuado para recibir la solución extraída.

- c2) Se pone en movimiento el dispositivo de centrifugación y gradualmente se incrementa su velocidad, pudiendo llegar a un máximo de tres mil seiscientas (3,600) revoluciones por minuto; se suspende el movimiento cuando deje de salir la solución por el dispositivo de drenaje.
- c3) Se deja que cese el movimiento del aparato, se adicionan doscientos (200) centímetros cúbicos de tricloroetileno, tetracloruro de carbono o benceno y se repite el procedimiento indicado en el subpárrafo c2) de este párrafo.
- c4) Se realiza no menos de tres (3) veces el procedimiento indicado en el subpárrafo c3) de este párrafo, hasta que el disolvente usado para la extracción salga limpio y no manche una tela de color claro.
- c5) Se remueve la tapa del tazón, se retira el disco de papel filtro y se seca al aire evitando perder

partículas del material pétreo que tenga adheridas; a continuación, se le desprenden las partículas de agregado que sea posible y se depositan en el tazón. En seguida se seca en el horno el disco de papel filtro hasta peso constante y a una temperatura de cien a ciento cinco grados centígrados (100 a 105°C), se pesa y se registra su peso como W'_p , con aproximación de cero punto dos (0.2) gramos.

- c6) En un ambiente con buena circulación o extracción de aire, se coloca en un recipiente el agregado pétreo y se calienta lentamente para provocar la volatilización del disolvente utilizado y a continuación se coloca en el horno a una temperatura de cien a ciento cinco grados centígrados (100 a 105°C) hasta peso constante, después de lo cual se saca del horno, se deja enfriar y se determina el peso del agregado pétreo, registrándolo como W_1 , con aproximación de cero punto dos (0.2) gramos.
- c7) Se determina a la porción de agregado pétreo libre de asfalto y secado al horno, con peso W_1 , su composición granulométrica, para la cual se aplica el procedimiento que se indica en la cláusula (010-I) de este Libro 6, corrigiendo su peso para tomar en cuenta la pérdida de finos que pueda haber ocurrido, mediante la fórmula siguiente:

$$W_g = w - \frac{w W}{100} - \frac{A W}{100 + A}$$

En donde:

W_g es el peso corregido del agregado pétreo para la determinación de la composición granulométrica, en gramos.

W es el peso inicial de la muestra de la mezcla asfáltica, en gramos.

w es el contenido de agua en la mezcla asfáltica, en por ciento.

A es el contenido de asfalto en la mezcla asfáltica, determinado de acuerdo con cualquiera de los procedimientos descritos en los incisos (012-I.02) o (012-I.03) de este Capítulo, en por ciento.

d) Los cálculos y reportes de esta prueba son los siguientes:

d1) Para la determinación de la composición granulométrica se efectúan los que correspondan de los indicados en la cláusula (010-I) de este Libro 6.

d2) Para la determinación del porcentaje aproximado de residuo o de cemento asfáltico contenido en la mezcla, el cálculo correspondiente se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$A = \left[\frac{W}{W_1 + (W'_p - W_p)} - 1 \right] 100$$

En donde:

A es el contenido aproximado de residuo o cemento asfáltico de la mezcla, en por ciento.

W es el peso inicial de la muestra de mezcla asfáltica, en gramos.

W_1 es el peso del agregado libre de asfalto, secado al horno, en gramos.

W_p es el peso seco del disco de papel filtro, después del centrifugado, en gramos.

W_p es el peso seco inicial del disco del papel filtro, en gramos.

- e) La causa más frecuente de error en esta prueba, es la pérdida de finos durante el proceso de centrifugación para extraer el asfalto a la mezcla, lo cual se origina por no asegurar debidamente la tapa al tazón.

012-J DETERMINACION DEL CONTENIDO DE AGUA Y DISOLVENTES EN MEZCLAS ASFALTICAS.

012-J.01 La determinación del contenido de agua y disolventes en mezclas asfálticas se llevará a cabo mediante la destilación de dichas mezclas, adicionadas con sustancias que sirven como vehículo para arrastrar y depositar los productos volátiles; dicha destilación se efectúa en trampas especiales que al final del proceso permitan la separación del disolvente o del agua que contiene la mezcla. Esta determinación in-

cluye dos pruebas, una para conocer el contenido de agua en las mezclas asfálticas y la otra para saber cuál es su contenido de disolventes; ambas pruebas tienen su mayor aplicación en el control de las mezclas elaboradas con productos asfálticos, durante el proceso constructivo de la capa; así también, permiten conocer las condiciones de la mezcla en las capas construídas, para estimar su comportamiento.

012-J.02 La prueba para determinar el contenido de agua en las mezclas asfálticas, se efectúa preparando previamente la muestra mediante la adición de gasolina blanca o xilol y destilándola en un dispositivo que incluye una trampa para agua.

- a) El equipo y materiales necesarios son los siguientes:

Envases con tapa hermética y capacidad suficiente para contener seis (6) kilogramos de mezcla.

Envases con tapa hermética y capacidad suficiente para contener seiscientos (600) gramos de mezcla.

Matraz cilíndrico con tapa hermética o recipiente metálico para destilación, provisto de perforación con adaptación tubular de veinticinco punto cuatro (25.4) milímetros de diámetro interior, adecuada para conectar el condensador, Figura Núm. 102.

Condensador o refrigerante de cristal para enfriamiento por agua, con una longitud mínima de cuatrocientos (400) milímetros, diámetro de

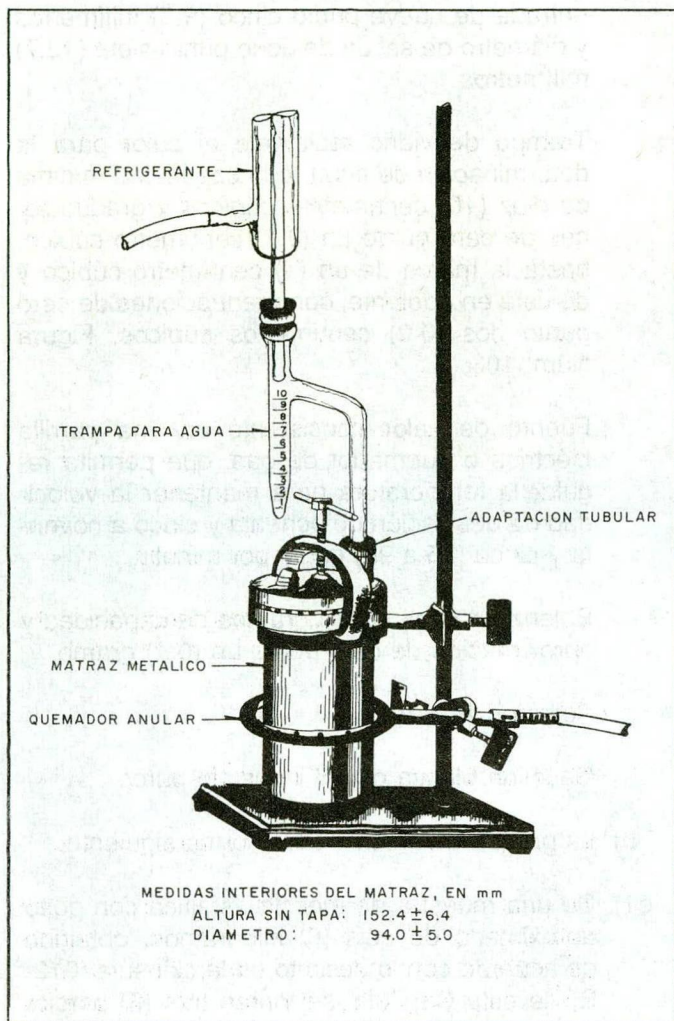


FIGURA NUM. 102.- EQUIPO PARA LA DETERMINACION DE AGUA EN MEZCLAS ASFALTICAS.

entrada de nueve punto cinco (9.5) milímetros y diámetro de salida de doce punto siete (12.7) milímetros.

Trampa de vidrio resistente al calor para la determinación de agua, con capacidad mínima de diez (10) centímetros cúbicos y graduaciones de cero punto un (0.1) centímetro cúbico, hasta la marca de un (1) centímetro cúbico y de ésta en adelante, con graduaciones de cero punto dos (0.2) centímetros cúbicos, Figura Núm. 103.

Fuente de calor consistente en una parrilla eléctrica o quemador de gas, que permita regular la temperatura para mantener la velocidad de destilación de ochenta y cinco a noventa y cinco (85 a 95) gotas por minuto.

Balanza de dos (2) kilogramos de capacidad y aproximación de cero punto un (0.1) gramo.

Agitador de vidrio.

Gasolina blanca o xilol industrial puros.

- b) La prueba se efectúa en la forma siguiente:
- b1) De una muestra de mezcla asfáltica con peso aproximado de seis (6) kilogramos, obtenida de acuerdo con lo descrito en la cláusula (012-B) de este Capítulo, se toman tres (3) porciones representativas con peso de quinientos a seiscientos (500 a 600) gramos. A una de las porciones se le determina su contenido de asfalto, A_m , en por ciento, refiriéndolo al peso to-

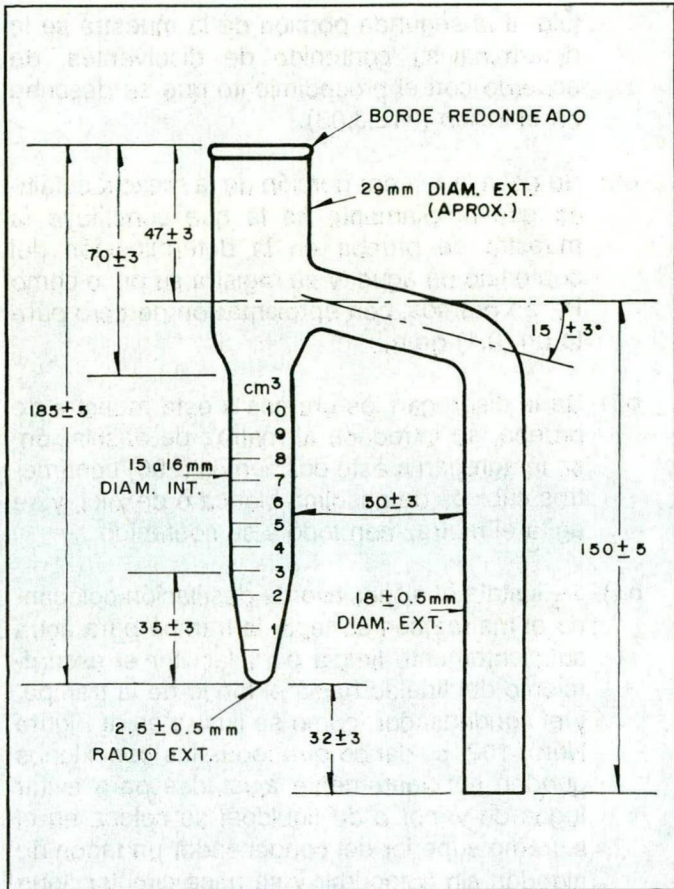


FIGURA NUM. 103.- TRAMPA PARA AGUA.

tal de dicha porción de mezcla asfáltica, incluyendo sus disolventes y contenido de agua, siguiendo para el objeto los procedimientos que correspondan de los que se describen en los incisos (012-I.02) y (012-I.03) de este Capítulo.

tulo; a la segunda porción de la muestra se le determina su contenido de disolventes, de acuerdo con el procedimiento que se describe en el inciso (012-J.03).

- b2) Se pesa la tercera porción de la mezcla asfáltica que propiamente es la que constituye la muestra de prueba en la determinación del contenido de agua, y se registra su peso como P_1 , en gramos, con aproximación de cero punto un (0.1) gramo.
- b3) Se le disgregan los grumos a esta muestra de prueba, se introduce al matraz de destilación, se le agregan a éste doscientos (200) centímetros cúbicos de gasolina blanca o de xilol, y se agita el matraz con todo y su contenido.
- b4) Se instala el dispositivo de destilación colocando el matraz con su tapa, la trampa para agua suficientemente limpia para facilitar el escurrimiento del líquido hacia el fondo de la trampa, y el condensador, como se ilustra en la Figura Núm. 102, cuidando que todas las conexiones queden suficientemente ajustadas para evitar fugas de vapor o de líquidos; se coloca en el extremo superior del condensador un tapón de algodón sin comprimir y se hace circular agua por la camisa del mismo. A continuación se aplica calor suficiente al matraz, para que la destilación empiece entre cinco (5) y diez (10) minutos después de haberse iniciado la aplicación de calor y el disolvente condensado caiga en la trampa a una velocidad de ochenta y cinco a noventa y cinco (85 a 95) gotas por minuto.

- b5) Se continúa el proceso de destilación hasta que no se observe incremento del destilado en dos (2) lecturas sucesivas de la trampa hechas con intervalos de quince (15) minutos, pero teniendo cuidado de que el tiempo total de la destilación no exceda de uno punto cinco (1.5) horas.
- b6) Se dejan enfriar a la temperatura ambiente la trampa y su contenido después de lo cual, utilizando el agitador de vidrio, se escurren al depósito de la trampa las gotas de agua que hayan quedado adheridas a las paredes y a continuación se toma la lectura del volumen de agua depositado en la trampa, V_w , registrándolo con la aproximación de la escala respectiva.
- b7) Se calcula y reporta el contenido de agua en la mezcla asfáltica aplicando la siguiente fórmula:

$$w = \frac{V_w \gamma_o}{P_1 - (P_1 A_m + P_1 A_m K + V_w \gamma_o)} 100$$

En donde:

w es el contenido de agua en la mezcla asfáltica, respecto al peso del material pétreo seco, en por ciento.

V_w es la lectura del volumen del agua depositado en la trampa, en centímetros cúbicos.

γ_o es el peso específico del agua, y puede considerarse para este caso, de un gramo por centímetro cúbico.

P_1 es el peso inicial de la muestra de prueba, en gramos.

A_m es el contenido de residuo asfáltico en la mezcla, respecto al peso de la misma, con sus disolventes y agua, en por ciento.

K es la relación en peso de los disolventes contenidos en la mezcla, respecto al del residuo asfáltico de la misma, en por ciento.

c) Las causas más frecuentes de error en esta prueba son las siguientes:

c1) Que existan fugas en las uniones de las partes que integran el dispositivo de destilación o que al verificar la precisión del equipo, destilando volúmenes conocidos de agua, se obtengan discrepancias mayores de más menos uno por ciento ($\pm 1\%$).

c2) Que no se vigile la velocidad de la destilación.

012-J.03 La prueba para determinar el contenido de disolventes en las mezclas asfálticas se efectúa preparando la muestra mediante la adición de agua destilada y carbonato de sodio, y destilándola en esas condiciones, con el fin de obtener en una trampa para disolventes, separados del agua agregada, los disolventes que contiene la mezcla.

a) El equipo y materiales necesarios son los siguientes:

Envases con tapa hermética y capacidad suficiente para contener seis (6) kilogramos de mezcla.

Matraz metálico cilíndrico con tapa hermética o recipiente metálico para destilación, provisto de una perforación con adaptación tubular de veinticinco punto cuatro (25.4) milímetros de diámetro interior, que permita instalar el condensador, Figura Núm. 104.

Condensador o refrigerante de cristal para enfriamiento por agua, con una longitud mínima de cuatrocientos (400) milímetros, diámetro de entrada de nueve punto cinco (9.5) milímetros y diámetro de salida de doce punto siete (12.7) milímetros.

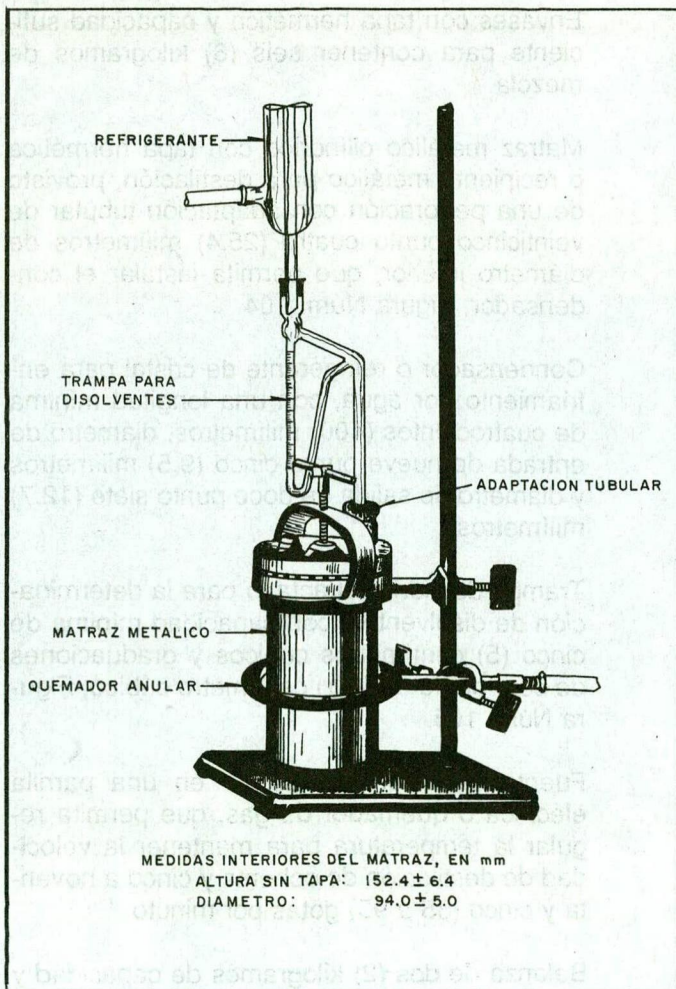
Trampa de vidrio refractario para la determinación de disolventes, con capacidad mínima de cinco (5) centímetros cúbicos y graduaciones de cero punto un (0.1) centímetro cúbico, Figura Núm. 105.

Fuente de calor consistente en una parrilla eléctrica o quemador de gas, que permita regular la temperatura para mantener la velocidad de destilación de ochenta y cinco a noventa y cinco (85 a 95) gotas por minuto.

Balanza de dos (2) kilogramos de capacidad y aproximación de cero punto un (0.1) gramo.

Agua destilada.

Carbonato de sodio, Na_2CO_3 .



**FIGURA NUM.- 104 EQUIPO PARA LA
DETERMINACION DE DISOLVENTES EN MEZCLAS
ASFALTICAS.**

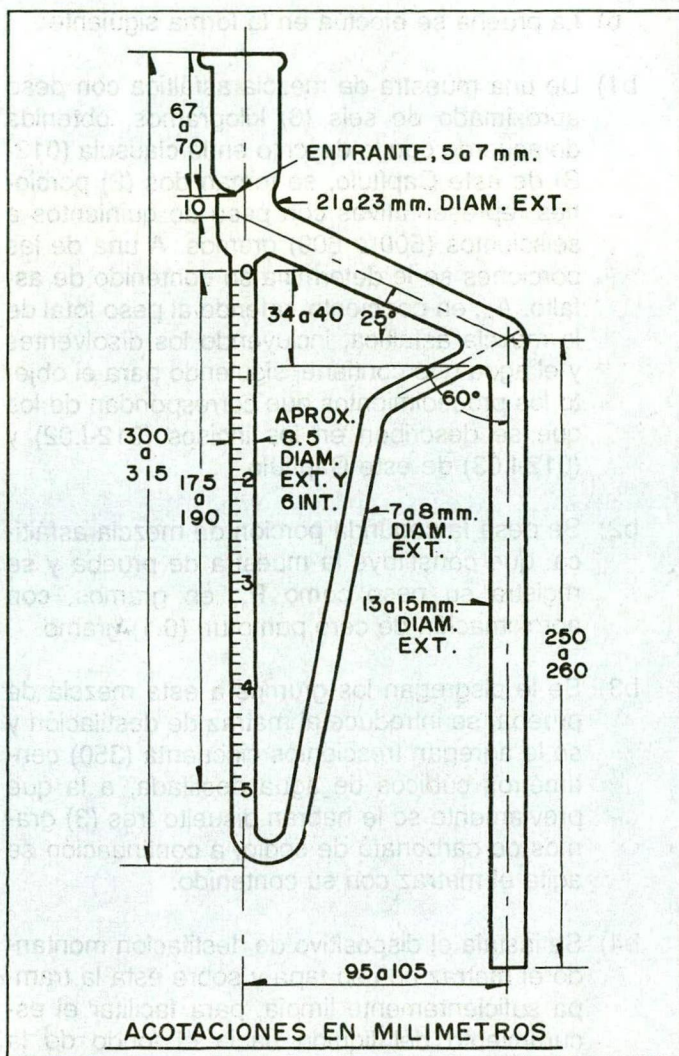


FIGURA NUM.- 105 TRAMPA PARA DISOLVENTES

- b) La prueba se efectúa en la forma siguiente:
- b1) De una muestra de mezcla asfáltica con peso aproximado de seis (6) kilogramos, obtenida de acuerdo con lo descrito en la cláusula (012-B) de este Capítulo, se toman dos (2) porciones representativas con peso de quinientos a seiscientos (500 a 600) gramos. A una de las porciones se le determina su contenido de asfalto, A_m , en por ciento, referido al peso total de la mezcla asfáltica, incluyendo los disolventes y el agua que contiene, siguiendo para el objeto los procedimientos que correspondan de los que se describen en los incisos (012-I.02) y (012-I.03) de este Capítulo.
 - b2) Se pesa la segunda porción de mezcla asfáltica, que constituye la muestra de prueba y se registra su peso como P_1 , en gramos, con aproximación de cero punto un (0.1) gramo.
 - b3) Se le disgregan los grumos a esta mezcla de prueba, se introduce al matraz de destilación y se le agregan trescientos cincuenta (350) centímetros cúbicos de agua destilada, a la que previamente se le habrán disuelto tres (3) gramos de carbonato de sodio; a continuación se agita el matraz con su contenido.
 - b4) Se instala el dispositivo de destilación montando el matraz con su tapa y sobre ésta la trampa suficientemente limpia, para facilitar el escurrimiento del líquido hacia el fondo de la misma y a continuación se coloca el condensador, como se ilustra en la Figura Núm. 104, cuidando que todas las conexiones queden

suficientemente ajustadas para evitar fugas de vapor o de líquidos; cuando se estime que los disolventes no se alcancen a condensar adecuadamente, se incrementará su enfriamiento acoplando un condensador adicional en el extremo superior de la columna de condensación y se coloca un tapón de algodón sin comprimir.

- b5) Se hace circular agua por la camisa de condensación y a continuación se aplica calor suficiente al matraz para que la destilación empiece de cinco a diez (5 a 10) minutos después de haberse iniciado la aplicación de calor, y que el disolvente condensado caiga en la trampa a una velocidad de ochenta y cinco a noventa y cinco (85 a 95) gotas por minuto.
- b6) Se continúa el proceso de destilación hasta que no se observe incremento del destilado en dos (2) lecturas sucesivas de la trampa hechas con intervalos de quince (15) minutos.
- b7) Se remueve la fuente de calor y se deja el dispositivo de destilación durante treinta (30) minutos a la temperatura ambiente, para permitir que el disolvente se enfríe y se separe; a continuación, se toma la lectura del volumen de disolvente, V_s , depositado en la trampa y se registra con aproximación de cero punto un (0.1) centímetro cúbico.
- b8) Se determina a la temperatura de veinticinco grados centígrados (25°C) el peso específico, D_s , del disolvente o bien, se considera con un valor medio de cero punto setenta y cinco (0.75) gramos por centímetro cúbico, para los asfaltos rebajados de fraguado rápido o de

cero punto ochenta (0.80) gramos por centímetro cúbico, para los asfaltos rebajados de fraguado medio.

- b9) Se calcula el contenido de disolventes reportándolo como por ciento en peso con relación al contenido de cemento asfáltico de la mezcla y designando a esta relación como valor "K", para lo cual se aplica la siguiente fórmula:

$$K = \frac{V_s D_s}{P_1 A_m}$$

En donde:

K es el contenido de disolventes en la mezcla asfáltica, con relación al peso del cemento asfáltico o de residuo asfáltico contenido en la misma, en por ciento.

V_s es el volumen del disolvente depositado en la trampa, en centímetros cúbicos.

D_s es el peso específico del disolvente, en gramos por centímetro cúbico.

P_1 es el peso inicial de la mezcla asfáltica correspondiente a la muestra de prueba, en gramos.

A_m es el contenido de cemento asfáltico o de residuo asfáltico en la mezcla, respecto al peso de la misma, incluyendo sus solventes y agua, en por ciento.

- c) Las causas más frecuentes de error son las mismas que se indican en el párrafo c) del inciso (012-J.02) de este Capítulo.

012-K VERIFICACION DE LA AFINIDAD ENTRE EL ASFALTO Y EL MATERIAL PETREO.

012-K.01 La determinación de la afinidad entre los asfaltos y los materiales pétreos utilizados en la construcción de capas o tratamientos asfálticos para pavimentación, se efectuará de acuerdo con lo indicado en la cláusula (010-L) de este Libro 6 y los resultados se aplicarán tanto para juzgar la calidad y comportamiento de los asfaltos y materiales pétreos, como para verificar el diseño de las mezclas y tratamientos asfálticos, con objeto de lograr combinaciones adecuadas de materiales, de acuerdo con la disponibilidad, economía y condiciones del uso a que se destinan.

012-K.02 Para llevar a cabo la determinación mencionada, en general se partirá de los materiales pétreos más factibles de utilizar en la obra, debiendo tomar en cuenta, al realizar el estudio de afinidad, las condiciones de humedad y temperatura que establece el proyecto, así como el funcionamiento del elemento estructural que se construya. Para el objeto, se aplicarán las pruebas descritas en la cláusula (010-L) antes mencionada y por lo que se refiere al uso de aditivos, éstos podrán considerarse, tanto para el material asfáltico como para el material pétreo, de acuerdo con las características de los materiales y los efectos que con el uso de dichos aditivos se pretenda lograr en la obra.

012-L DETERMINACION DE LA PERMEABILIDAD DE LAS CAPAS ASFALTICAS.

012-L.01 La determinación de la permeabilidad en las capas construidas con mezcla asfáltica, tiene por objeto conocer la mayor o menor facilidad que éstas pre-

sentan para que se les infiltren ciertos líquidos como agua, aceite y otros, que puedan afectar al pavimento; por otra parte, los resultados de la prueba permiten juzgar objetivamente el acomodo de las partículas, la estructura que con ellas se logra en la capa construida o bien, la eficacia obtenida con los tratamientos superficiales.

012-L.02 En este inciso se describe la prueba de permeabilidad al agua por el método del aro y el cono, consistente en cuantificar el volumen de agua que bajo determinadas condiciones puede infiltrarse en la capa estudiada, lo cual está en función de los vacíos que presentan entre sí las partículas que la constituyen o de la eficacia de su tratamiento superficial.

a) El equipo y materiales necesarios son los que se indican a continuación:

Aro de lámina galvanizada del Núm. 16, de doscientos cincuenta (250) milímetros de diámetro interior y cincuenta (50) milímetros de altura.

Cono de bronce de veinticinco (25) milímetros de altura y base de veinte (20) milímetros de diámetro.

Probetas graduadas con capacidad de cien (100) centímetros cúbicos y mil (1,000) centímetros cúbicos.

Cronómetro con aproximación de un (1) segundo.

Fuente de calor de flama abierta.

Recipiente para agua, con capacidad mínima de cinco (5) decímetros cúbicos.

Sellador constituido por mastique, plastilina, parafina o mezcla de parafina y brea en partes iguales.

Recipiente con agua.

b) La prueba se efectúa en la forma siguiente:

- b1) Se seleccionan en la superficie de la carpeta del subtramo por estudiar, zonas que se aprecien con la textura más abierta, que por su acabado o irregularidades de tendido pueden presentar problemas de permeabilidad; en estas zonas se ubican los lugares de prueba, separándolos entre sí a una distancia del orden de doscientos (200) metros y procediendo con ellos en forma sucesiva y por alas o lados de la capa asfáltica tendida.
- b2) Se fija el aro de lámina en posición horizontal sobre la carpeta, en uno (1) de los sitios escogidos para hacer la prueba, procediendo a tapar la parte exterior de la junta entre la carpeta y el aro con el sellador, cuya consistencia se adecuará para aplicarlo en forma de un cordón de dos (2) centímetros de diámetro, aproximadamente; se presiona el cordón con los dedos para obturar debidamente las oquedades entre el aro y la carpeta.
- b3) Se coloca el cono en el centro de la carpeta delimitada por el aro y en seguida se vierte rápidamente suficiente agua para cubrir dicho

cono hasta el vértice; en ese instante se acciona el cronómetro y se agrega más agua, midiéndola con las probetas graduadas, en la cantidad necesaria para compensar la que se infiltra a través de la carpeta y mantener constante durante diez (10) minutos el nivel inicial de prueba indicado por el vértice del cono.

b4) Al completarse dicho lapso se suspende la adición del agua de compensación y se registra el volumen de la misma, en centímetros cúbicos.

c) En esta prueba se calcula y reporta el índice de permeabilidad de la carpeta asfáltica en la ubicación seleccionada para la prueba, aplicando la siguiente fórmula:

$$I_p = \frac{V_f}{V_t} 100 = 0.08 V_f$$

En donde:

I_p es el índice de permeabilidad en el lugar de prueba, en por ciento.

V_f es el volumen de agua infiltrada en la carpeta durante el tiempo de prueba, en centímetros cúbicos.

V_t es el volumen delimitado en el interior del aro, por la altura del cono, cuyo valor es de mil doscientos cuarenta y siete (1,247) centímetros cúbicos.

0.08 es un coeficiente que resulta de simplificar numéricamente la fórmula, dividiendo cien (100) entre mil doscientos cuarenta y siete (1,247).

- d) La causa más frecuente de error en esta prueba es considerar como parte del agua infiltrada en la capa ensayada, la que se fuga por la junta entre el aro y dicha capa, debido a un sellado deficiente.

INDICE**PARTE 6.01
CARRETERAS Y AEROPISTAS****TITULO 6.01.03
PAVIMENTOS (II)****TOMO 2****Clasificación Página****CAPITULO 6.01.03.012.-
MEZCLAS ASFALTICAS**

CONTENIDO	012-A	1
Generalidades	012-A.01	1
MUESTREO	012-B	1
Generalidades	012-B.01	1
Equipo y materiales	012-B.02	2
Procedimientos de muestreo	012-B.03	3
PROPORCIONAMIENTO PRELIMINAR, ELABORACION Y/O PREPARACION DE LAS MEZCLAS DE PRUEBAS	012-C	7
Generalidades	012-C.01	7

	Clasificación	Página
Proporcionamiento de la granulometría de los materiales pétreos para mezclas asfálticas	012-C.02	9
Determinaciones preliminares del porcentaje de material asfáltico requerido para las mezclas	012-C.03	16
Preparación de las muestras de mezclas asfálticas	012-C.04	23
METODO PARA DISEÑO Y VERIFICACION DE MEZCLAS ASFALTICAS	012-D	27
Generalidades	012-D.01	27
Determinación de la proporción óptima aproximada de material asfáltico por el procedimiento de absorción de queroseno	012-D.02	28
Determinación de la proporción óptima de asfalto mediante las pruebas de compresión axial y compresión diametral	012-D.03	51
Metodo de extrusión para mezclas con cemento asfáltico, utilizando el equipo Hubbard Field	012-D.04	76

	Clasificación	Página
Método Marshall, para el proyecto de mezclas asfálticas	012-D.05	89
Método Hveem, para revisión y proyecto de mezclas asfálticas	012-D.06	121
Método de abrasión en húmedo para morteros asfálticos	012-D.07	168
DETERMINACION DE LOS PESOS VOLUMETRICOS DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS Y DE LOS PORCENTAJES DE VACIOS	012-E	179
Generalidades	012-E.01	179
(Conceptos básicos y propiedades de mezclas asfálticas)		
a) Peso específico teórico máximo		180
b) Porcentaje de vacíos de la mezcla compactada		181
c) Porcentaje de vacíos del material pétreo en la mezcla compactada		183

NORMAS PARA MUESTREO Y PRUEBAS DE LOS
MATERIALES, EQUIPOS Y SISTEMAS

	Clasificación	Página
Peso volumétrico suelto	012-E.02	184
Peso volumétrico en el vehículo de transporte	012-E.03	186
Peso volumétrico de la mezcla acamellonada	012-E.04	188
Peso volumétrico en la capa compactada	012-E.05	189
Peso volumétrico de especímenes labrados o elaborados	012-E.06	190
PRUEBAS DE COMPACTACION	012-F	192
Generalidades	012-F.01	192
Peso volumétrico máximo de la mezcla asfáltica	012-F.02	192
DETERMINACION DEL GRADO DE COMPACTACION	012-G	193
Generalidades	012-G.01	193
Cálculo y reporte	012-G.02	194
DETERMINACION DE LOS COEFICIENTES DE VARIACION VOLUMETRICA	012-H	195

	Clasificación	Página
Generalidades	012-H.01	195
Coeficiente de variación volumétrica de estado suelto en el vehículo de transporte a estado compacto	012-H.02	195
DETERMINACION DEL CONTENIDO DE ASFALTO Y GRANULOMETRIA DEL MATERIAL PETREO EN MEZCLAS ASFALTICAS	012-I	197
Generalidades	012-I.01	197
Método colorimétrico	012-I.02	197
Procedimiento de extracción por medio de recirculación de disolvente en caliente	012-I.03	205
Verificación de la granulometría del agregado pétreo obtenido mediante lavado de la mezcla por centrifugado	012-I.04	219
DETERMINACION DEL CONTENIDO DE AGUA Y DISOLVENTES EN MEZCLAS ASFALTICAS	012-J	227
Generalidades	012-J.01	227

NORMAS PARA MUESTREO Y PRUEBAS DE LOS
MATERIALES, EQUIPOS Y SISTEMAS

	Clasificación	Página
Contenido de agua	012-J.02	228
Contenido de disolventes	012-J.03	234
VERIFICACION DE LA AFINIDAD ENTRE EL ASFALTO Y EL MATERIAL PETREO	012-K	241
Generalidades	012-K.01	241
Ejecución	012-K.02	241
DETERMINACION DE LA PERMEABILIDAD DE LAS CAPAS ASFALTICAS	012-L	241
Generalidades	012-L.01	241
Permeabilidad al agua, método del aro y el cono	012-L.02	242

Esta edición de 8,000 ejemplares para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, se terminó de imprimir en el mes de marzo de 1991, en los talleres de Tredex Editores, S.A. de C.V., Acapulco No. 36 4º piso, Col. Roma, C.P. 06700, México, D.F.

