



SECRETARIA
DE COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES

692.3 N
SCT-u.
1987 T-13

Normas para Muestreo y Pruebas de Materiales, Equipos y Sistemas

Carreteras y Aeropistas

PAVIMENTOS (I)

9A-3



07619

SCT/DGST/CDT

No. de Adq.



LIB00072

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

L I B R O 6

NORMAS PARA MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES
EQUIPOS Y SISTEMAS

PÁRTE 6.01

CARRETERAS Y AEROPISTAS

TÍTULO 6.01.03

PAVIMENTOS

1987



C O N T E N I D O

LIBRO 6

NORMAS PARA MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES

PARTE 6.C1

CARRETERAS Y AEROPISTAS

TITULO 6.C1.C3

PAVIMENTOS

I N D I C E

	Pág.
Capítulo 009 Materiales para Revestimientos, Sub bases y Bases de Pavimento.....	1
" 010 Materiales Pétreos para Carpetas y Mezclas Asfálticas.....	133
Indice General	I

CAPITULO 009.

MATERIALES PARA REVESTIMIENTOS, SUB-BASES Y BASES DE PAVIMENTO

009-A CONTENIDO

009-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 los materiales seleccionados que se emplean en la construcción de revestimientos, sub-bases y bases de pavimento, para conocer su calidad, prever su probable comportamiento en la obra y controlar sus características durante la construcción. Los requisitos de calidad de los materiales a que se refiere esta Cláusula, se establecen en el Capítulo (009) del Libro 4 de estas Normas.

009-B MUESTREO

009-B.01 Para llevar a cabo el muestreo se tomará en cuenta lo siguiente:

- a) El muestreo consiste en la obtención de una o varias porciones representativas del material seleccionado, generalmente mediante sondeos y/o canales verticales, para efectuar las pruebas de laboratorio necesarias con el fin de juzgar su calidad; incluye también las operaciones complementarias de envase, identificación y transportes de las muestras. La obtención de las referidas muestras puede efectuarse en áreas de estudio de posibles bancos de materiales, en bancos ya localizados, en plantas de producción o de tratamiento, en almacenamientos, en el lugar de utilización, etc.
- b) El número y tamaño de las muestras depende del volumen y homogeneidad del material por

muestrear, así como del estudio que se requiera llevar a cabo. Cuando los materiales presentan poca variación en sus características, el número de muestras será menor y el espaciamiento de los sondeos será mayor que en los bancos o fuentes de abastecimiento heterogéneos, y en los estudios preliminares el espaciamiento será mayor que en los estudios definitivos. Cuando se trate de bancos, las muestras deberán tomarse hasta una profundidad que corresponda al nivel más bajo probable de explotación.

009-B.02 El equipo y materiales que generalmente se necesitan para llevar a cabo el muestreo son los que se indican en el inciso (6.01.01.002-B.02) de este Libro, debiendo disponerse en algunas ocasiones de equipo de perforación y de explosivos.

009-B.03 El muestreo se efectuará de acuerdo con lo que se indica a continuación:

a) En el caso de zonas probables de explotación y de bancos, se tomará en cuenta lo siguiente:

al) El muestreo tiene por objeto obtener porciones representativas del material que constituye cada banco, a efecto de conocer su calidad y el volumen aprovechable. Como complemento se definen, entre otros aspectos, la ubicación, topografía, humedad, despalme, posible zona y forma de ataque, para determinar si es conveniente la explotación de dicho material. Los bancos que comúnmente se muestrean son las formaciones de roca, fragmentos de roca y suelos, depósitos originados por acarreos y piedra de pepena. Generalmente es necesario efectuar un muestreo preliminar y uno definitivo; el primero se realiza con

el objeto de conocer en forma rápida las características de las zonas probables de explotación y en caso de obtener resultados satisfactorios, se lleva a cabo el muestreo definitivo con el objeto de verificar en forma más completa si el material cumple con los requisitos de calidad especificados y si es suficiente el volumen disponible.

- a2) Previamente a la obtención de las muestras deberá determinarse la localización de los lugares de muestreo de acuerdo con el tipo de estudio que se desee llevar a cabo. Tratándose de muestreos preliminares de suelos, se harán como mínimo dos (2) sondeos en la zona probable de explotación en estudio o bien, cuando dicha zona presenta frentes abiertos, se harán dos (2) canales o ranuras sobre el talud; tratándose de rocas, se hará cuando menos un sondeo ya sea en zonas probables de explotación o de bancos. En el estudio definitivo se harán sondeos a cada cincuenta (50) metros aproximadamente, los cuales se distribuirán en forma de cuadrícula, dependiendo de la homogeneidad del material por muestrear y en caso de que éste sea heterogéneo, de acuerdo con su variabilidad se intercalarán sondeos adicionales. Cuando se tengan áreas pequeñas en estudio, la distancia de cincuenta (50) metros podrá reducirse, como en el caso de materiales cementantes y materiales de mejoramiento. En los frentes abiertos, se efectuarán canales a cada cincuenta (50) metros o menos, según la amplitud del frente y la homogeneidad del material en estudio.

- a3) Para la obtención de las muestras, se procederá en términos generales como se indica a continuación:
- a3.a) Se elimina la capa de tierra vegetal o material superficial alterado y se excavan sondeos a cielo abierto, que tengan paredes sensiblemente verticales, con dimensiones mínimas convenientes para facilitar las maniobras y que ofrezcan seguridad durante las mismas. En el caso de frentes abiertos se elimina de las zonas en que se practicarán los canales, el material superficial que por estar expuesto a la intemperie esté alterado; dichos canales serán de sección transversal uniforme, con profundidad no menor de veinticinco (25) centímetros y abarcarán todo el espesor del estrato o estratos por muestrear. Cada muestra, tanto para el estudio preliminar como para el definitivo, pesará como mínimo cincuenta (50) kilogramos.
- a3.b) En suelos con apariencia homogénea se obtendrá una muestra integral abriendo un canal en los casos que exista frente; además se muestreará el área probable de explotación, tomando una muestra de cada sondeo, para lo cual se hará un canal en una de las paredes de dicho sondeo y el material así extraído se juntará en una lona y se cuarteará en ésta para formar la muestra. Cuando el banco sea heterogéneo, es decir, que esté formado por diferentes estratos, se tomará como mínimo una muestra por cada uno de dichos estratos y si se requiere se formarán muestras integrales que representen todos los estratos en la proporción que estima

tivamente presentan en su estado natural.

a3.c) Cuando se trate de afloramientos o frentes abiertos en roca, se tomarán fragmentos de diferentes lugares del área expuesta, los cuales servirán como orientación acerca de la calidad del material. Para definir el volumen y calidad del material que constituye un banco se efectuarán sondeos a la profundidad necesaria, ya sea a cielo abierto por medio de explosivos o con máquinas perforadoras del tipo rotatorio para obtener corazones de la roca.

b) En el caso de plantas de tratamiento se tomará en cuenta lo siguiente:

b1) El muestreo tiene como objetivos fundamentales conocer la calidad para orientar o encauzar la producción de los materiales pétreos; o bien, obtener la información de las características de los materiales producidos durante un lapso determinado, para fines de proyecto y verificación. El criterio de muestreo se establecerá de acuerdo con el objetivo que se persigue en el estudio respectivo y en términos generales se llevará a cabo como se indica en los siguientes subpárrafos.

b2) Para conocer en un momento dado la calidad del material que se está procesando, se tomarán porciones de muestra de preferencia en la descarga de una banda transportadora o del elevador de cangilones interceptando toda la corriente del material a intervalos regulares. Estas fracciones de muestra serán de diez (10) kilogramos, aproximadamente, se tomarán cada

quince (15) minutos y se combinarán para formar una muestra de cincuenta (50) kilogramos, que representará la producción durante el lapso en que se efectuó el muestreo; o bien, se podrán ensayar por separado.

b3) Cuando el muestreo se haga en la descarga de la tolva, se utilizará un vehículo de transporte para tomar un (1) metro cúbico aproximadamente, por cada cuatrocientos (400) metros cúbicos o fracción de material producido; se descargará en un lugar adecuado y se obtendrá por cuarteos sucesivos una muestra de cincuenta (50) kilogramos aproximadamente. Cuando se requiera mayor información, se podrá tomar una muestra por cada cien (100) metros cúbicos o fracción, de acuerdo con el procedimiento antes indicado.

c) En el caso de almacenamientos se tomará en cuenta lo siguiente:

c1) Para el muestreo en almacenamientos se tendrán las precauciones debidas, ya que en general son materiales acomodados en forma que fácilmente se derrumban, lo que dificulta y hace imprecisa la obtención de las muestras; esta operación generalmente se realizará en los taludes y cuando se tengan superficies adecuadas se efectuará mediante sondeos. En los taludes, el muestreo se hará tomando material con una pala de mano, a diferentes alturas, de manera de abarcar toda la altura del talud; las zonas de muestreo se espaciarán diez (10) metros, aproximadamente, de acuerdo con el volumen y dimensiones del almacenamiento; el material obtenido

de cada zona se mezclará y cuarteará sin contaminarlo para obtener muestras individuales con peso no menor de cincuenta (50) kilogramos. En la parte superior del depósito, las muestras se obtendrán del material extraído de excavaciones o sondeos hechos a la mayor profundidad posible y con un espaciamiento que dependerá del área superior del almacenamiento; si la cantidad de material obtenida de cada sondeo es mayor de cincuenta (50) kilogramos, aproximadamente, se procederá a reducirla a este peso mediante cuarteos sucesivos..

- d) Para el muestreo de materiales en el lugar de utilización se tendrá en cuenta lo siguiente:
- d1) Se presentan tres (3) casos: cuando el material se encuentra formando montones, cuando está acamellonado y cuando está tendido o compactado.
 - d2) En los dos (2) primeros casos indicados en el subpárrafo d1) de este párrafo, se tomará una (1) muestra por cada quinientos (500) metros cúbicos, debiendo tenerse en cuenta que para el material amontonado o acamellonado se aplicará la técnica del muestreo indicada en el párrafo c) de este Inciso, pero la distancia a que deberá tomarse cada muestra no será mayor de doscientos cincuenta (250) metros. En el caso de material tendido o compactado se tomarán las muestras a distancias no mayores de quinientos (500) metros, haciéndose por lo menos dos (2) sondeos en cada sección transversal al eje de carretera o franja de construcción en el caso

de aeropuertos con distancia entre sí de tres (3) a cinco (5) metros; dichos sondeos deberán tener una profundidad igual al espesor de la capa del material que se va a muestrear y un área de dimensiones adecuadas a la cantidad de muestra que se requiera. En el caso de estudios de re construcción o para otros fines específicos, el espaciamiento de las muestras dependerá de las condiciones y características generales de la obra de que se trate.

- e) La identificación, envase y transporte de las muestras deberá efectuarse como se indica en los párrafos e) a h) del inciso (6.01.01.002-B.03) de este Libro 6.

009-C PREPARACION DE LAS MUESTRAS.

009-C.01 Para efectuar la preparación de las muestras de materiales para revestimientos, sub-bases y bases de pavimento deberá tomarse en cuenta lo siguiente:

- a) Esta preparación en términos generales comprende lo descrito en la cláusula (6.01.01.002-D) de este Libro 6, pero en ciertos casos algunas muestras requerirán de tratamientos preliminares, de acuerdo con el uso que se le pretende dar al material en la obra; estos tratamientos son necesarios a fin de obtener porciones representativas en condiciones adecuadas para efectuar las pruebas en dichos materiales, ya sea separadamente o bien integrando mezclas.
- b) En algunos casos las muestras de prueba se integran con mezclas de materiales que pueden tener o no tratamientos previos. De acuerdo con las condiciones de las muestras, pueden omitirse algunas de las operaciones citadas en la referida cláusula (6.01.01.002-D).

009-C.02 Los tratamientos a que comúnmente se someten las muestras de los materiales pétreos objeto de este Capítulo son: cribado, trituración y lavado, los cuales deberán efectuarse a la muestra en condiciones semejantes a las de la obra.

- a) El cribado consiste en separar el material por tamaños, para mezclar éstos en proporciones adecuadas, a fin de obtener una granulometría semejante a la que se va a aplicar en la obra o bien, a la que se requiera de acuerdo con el uso probable del material, eliminando en algunos casos las fracciones que se encuentren en exceso.
- b) La trituración de la muestra consiste en reducir el tamaño de sus partículas con objeto de darle la granulometría requerida, para lo cual, a una porción de suelos gruesos o fragmentos de roca, se le someterá a cualquiera de los siguientes tratamientos:
 - b1) Trituración manual, en la que los fragmentos de roca se rompen con marteo sobre una superficie resistente, hasta obtener el tamaño máximo y cierta sucesión granulométrica.
 - b2) Trituración mecánica, en la que el material se rompe mediante equipo de trituración en el laboratorio o en el campo.
- c) El lavado de la muestra, que tiene por objeto eliminar finos perjudiciales, se efectuará a una porción de material en el laboratorio o en el campo.
 - c1) El lavado en el laboratorio se realiza por decantación, colocando la muestra dentro de una charola rectangular, vertiéndole agua hasta cubrir el material, agitan

dolo y removiéndolo en forma alternativa dentro del agua, hasta lograr poner en suspensión la fracción que se desea eliminar; en seguida se deja reposar el tiempo necesario, hasta que se observe que el material aprovechable esté sedimentado y a continuación se elimina el agua por decantación. Este proceso se repite las veces que se requiera, hasta que el agua que se decante salga limpia.

- c2) El lavado en el campo se efectuará con el equipo de construcción de que se disponga en la obra.

009-C.03 El secado de las muestras se efectuará como se indica en el inciso (6.01.01.002-D.02).

009-C.04 La disgregación de las muestras se llevará a cabo como se indica en el inciso (6.01.01.002-D.03).

009-C.05 El cuarteo de las muestras se efectuará como se indica en el inciso (6.01.01.002-D.04).

009-C.06 El diseño de mezclas de materiales requiere de estudios especiales que en cada caso deberán efectuarse, tomando en cuenta las necesidades de la obra, la disponibilidad de materiales, el aspecto económico, etc. y se llevará a cabo de acuerdo con alguno de los procedimientos que se indican en el inciso (012-D.02) de este Libro 6, relativo a la preparación de muestras para mezclas asfálticas. Cuando se trate de efectuar estudios de mezclas o combinaciones de las diferentes fracciones de un mismo material, o de diversos materiales en proporciones fijadas por anticipado, ya sea para el proyecto o para fines de verificación, se integrará la mezcla de prueba con las fracciones o porciones de material correspondiente, habiéndoles dado el tratamiento previsto, de acuerdo con lo que se indica en los incisos (009-C.02) a (009-C.05) de esta Cláusula. Para la integración de mezclas de prueba en el laboratorio, los materiales seleccionados se pesarán por separado de

acuerdo con las proporciones establecidas, haciendo las transformaciones necesarias en el caso de que dichas proporciones estén dadas en volumen.

009-D DETERMINACION DE LA HUMEDAD O
CONTENIDO DE AGUA

009-D.01 La determinación de la humedad o contenido de agua en materiales para revestimientos, sub-bases y bases de pavimento, deberá efectuarse como se indica en la cláusula (6.01.01.002-E).

009-E CORRECCION AL CONTENIDO DE AGUA
DETERMINADO CON LA PRUEBA RAPIDA

009-E.01 La corrección al contenido de agua determinado con la prueba rápida, en los materiales a que se refiere este Capítulo, deberá hacerse de acuerdo con el procedimiento descrito en la cláusula (6.01.01.002-F).

009-F DETERMINACION DE LOS PESOS ESPECIFICOS
RELATIVOS Y DE LA ABSORCION

009-F.01 La determinación de los pesos específicos relativos aparentes y de la absorción, se llevará a cabo tanto en el material retenido como en el que pasa la malla Núm. 4.75 y se efectuará de acuerdo con lo indicado en la cláusula (6.01.01.002-G).

009-F.02 La determinación del peso específico relativo aparente de un suelo o una mezcla de suelos, deberá efectuarse obteniendo previamente los pesos específicos relativos aparentes de las fracciones retenidas y pasando la malla Núm. 4.75 del suelo o de la mezcla de suelos y aplicando la fórmula del inciso (010-F.03) Capítulo (010) de este Libro 6.

009-G DETERMINACION DE LA COMPOSICION
GRANULOMETRICA

009-G.01 La determinación de la composición granulométrica se aplicará en el estudio de materiales pétreos para revestimientos, sub-bases y bases de pavimento, tanto para ayudar a juzgar su calidad, como para hacer

el diseño de mezclas de materiales con objeto de corregir algunas deficiencias que presenten los mismos, en su granulometría, plasticidad, valor relativo de sopORTE, etc.

009-G.02 La determinación de la composición granulométrica deberá efectuarse de acuerdo con lo descrito en la cláusula (002-H), excepto en lo que se refiere a la preparación de la muestra, en que deberá tomarse en cuenta lo indicado en la cláusula (009-C) de este Capítulo.

009-H DETERMINACION DE LOS LIMITES DE PLASTICIDAD Y DE LA CONTRACCION LINEAL

009-H.01 La determinación de los límites de plasticidad y de la contracción lineal, en materiales pétreos para revestimientos, sub-bases y bases de pavimento, deberá hacerse tomando en cuenta lo que se indica en la cláusula (6.01.01.002-I), de este Libro 6, excepto en lo que se refiere a la preparación de la muestra, que deberá hacerse tomando en cuenta lo que se indica en la cláusula (009-C) de este Capítulo.

009-I DETERMINACION DEL EQUIVALENTE DE ARENA

009-I.01 Para la determinación del equivalente de arena se tomará en cuenta lo siguiente:

- a) Esta prueba tiene por objeto determinar, en la fracción de suelo que pasa la malla Núm. 4.75, bajo condiciones de prueba establecidas, la proporción volumétrica de partículas de tamaño mayor que el de las arcillas, con respecto al volumen de las partículas finas de tamaño similar al de las citadas arcillas, para lo cual se emplea un procedimiento que amplifica el volumen de los materiales finos en forma proporcional a sus efectos perjudiciales.
- b) Para esta determinación se emplea la fracción de suelo mencionada en el párrafo a) de este inciso, la que podrá estar integr

da por arena y finos; estos últimos pueden estar constituidos a su vez por partículas plásticas perjudiciales y por partículas no plásticas. El método que se describe cuantifica el volumen total de material no plástico deseable en la muestra, denominando su proporción volumétrica como equivalente de arena.

- c) La prueba de equivalente de arena en general se aplica a materiales para sub-bases, bases y agregados pétreos para mezclas asfálticas y para concreto hidráulico, permitiendo obtener rápidamente datos sobre la calidad del material, desde el punto de vista de su contenido de finos indeseables, generalmente de naturaleza plástica.

009-1.02 El equipo y los materiales necesarios para efectuar esta prueba son los siguientes:

Probetas de lucita o acrílico transparente, con escala de alturas graduadas en milímetros, con tapón de hule, y con la forma y dimensiones que se muestran en la Figura Núm. 1.

Tubo irrigador de acero inoxidable, provisto de un (1) tramo de manguera de hule y de un (1) sifón.

Pisón metálico con peso de mil más menos cinco (1000 ± 5) gramos, de la forma y dimensiones indicadas en la citada Figura Núm. 1.

Cápsulas metálicas de cincuenta y siete (57) milímetros de diámetro, con capacidad de ochenta y cinco más menos cinco (85 ± 5) centímetros cúbicos.

Embudo de vidrio o plástico, de boca ancha,

de diez (10) centímetros de diámetro.

Cronómetro con aproximación de un quinto (1/5) de segundo.

Dos botellas de vidrio o de plástico, con capacidad mínima de tres punto setenta y ocho (3.78) litros.

Agitador mecánico manual como el que se ilustra en la Figura Núm. 2, que permita oscilaciones con amplitud de veinte centímetros de la probeta instalada, o agitador automático con la misma amplitud de oscilación y que opere con una frecuencia de ciento setenta y cinco más menos dos (175 ± 2) ciclos por minuto.

Malla Núm. 4.75.

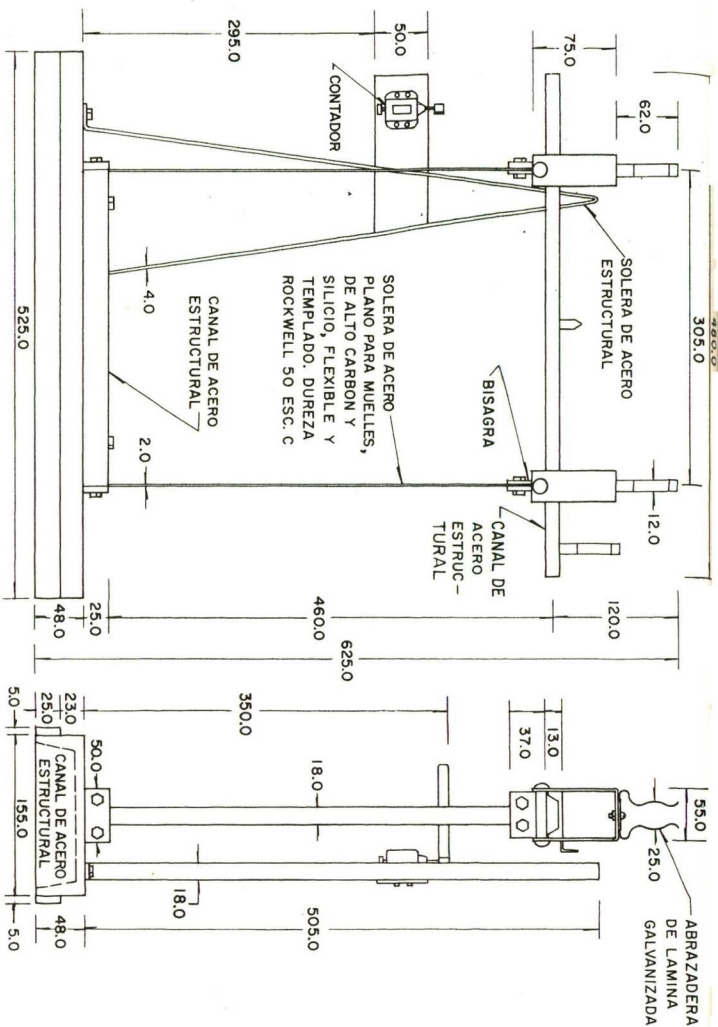
Balanza de dos (2) kilogramos de capacidad y cero punto un (0.1) gramo de aproximación.

Horno con termostato que mantenga una temperatura de ciento cinco más menos cinco grados centígrados ($105 \pm 5^{\circ}\text{C}$).

Guantes de hule.

Papel filtro con velocidad de filtrado rápida.

Solución de reserva. Se prepara disolviendo cuatrocientos cincuenta y cuatro (454) gramos de cloruro de calcio en uno punto ochenta y nueve (1.89) litros de agua destilada; como al preparar esta solución se genera calor, se le deja enfriar y se hace pasar a través del papel filtro; a continuación se agregan cuarenta y siete (47) gramos de solución volumétrica al cuarenta por ciento (40%) de formaldehído R.A. (solución comercial) y dos mil cincuenta (2050) gramos de glicerina U.S.P. (glicerina normalizada),



VISTA DE FRENTE
FIGURA NUM. 2

ACOTACIONES EN MILIMETROS
AGITADOR MECANICO

VISTA LATERAL
MANUAL

se mezcla el total y se agrega agua destilada hasta completar tres punto setenta y ocho (3.78) litros; finalmente se agita to da la solución para homogeneizarla.

Solución de trabajo. Se prepara colocando en la botella de tres punto setenta y ocho (3.78) litros de capacidad, ochenta y cinco más menos cinco (85 ± 5) centímetros cúbicos de la solución de reserva, se llena con agua destilada y se agita para obtener una solución homogénea. En vez de agua destilada puede usarse agua limpia de la llave, siempre y cuando al hacerse pruebas comparativas con la misma muestra de suelo, se ob tengan resultados prácticamente iguales en el equivalente de arena.

009-1.03 La preparación de la muestra se efectuará co mo se describe a continuación:

- a) De la muestra total, preparada en la forma que se indica en la cláusula (009-C) de este Capítulo, se toma por cuarteo la porción necesaria para obtener aproximadamente quinientos (500) gramos de material que pasa la malla Núm. 4.75.
- b) Se hace pasar el material así obtenido, a través de la malla Núm. 4.75, tomando las precauciones necesarias para evitar la pérdida de finos, pudiendo requerirse para esto último humedecerlo ligeramente. Si la fracción retenida en la malla Núm. 4.75 con tiene partículas con material fino adherido, se frota vigorosamente entre las manos cubiertas con guantes y el polvo resultante se agrega al material que inicialmente pasó la malla Núm. 4.75.
- c) Se mezcla perfectamente la muestra con las

manos enguantadas, se llena una cápsula, se golpea ésta por su base contra la mesa de trabajo con el fin de acomodar las partículas y finalmente se enrasa.

- d) Al efectuar esta prueba con muestras húmedas implica un ahorro considerable de tiempo, pero generalmente se obtienen valores del equivalente de arena inferiores a los que resultan empleando muestras secas; por lo tanto, cuando el valor del equivalente de arena del material esté por abajo o muy cerca del mínimo especificado, se repetirá la prueba por triplicado, empleando muestras secadas al horno hasta peso constante, a una temperatura de ciento cinco más menos cinco grados centígrados ($105 \pm 5^{\circ}\text{C}$), en cuyo caso el peso del material que deberá emplearse en cada cápsula llena será el mismo.

009-I.04 La prueba se efectúa en la forma siguiente:

- a) Se coloca la botella con la solución de trabajo en una repisa que estará a una altura de novecientos quince más menos veinticinco (915 ± 25) milímetros, sobre el nivel de la mesa de trabajo, Figura Núm. 3.
- b) Se instala el sifón en la botella, el cual se llena soplando por el tubo corto y manteniendo abierta la pinza de que está provisto el tubo largo.
- c) Se vierte en la probeta, utilizando el sifón, solución de trabajo hasta una altura de ciento uno punto cinco más menos dos puntos cinco (101.5 ± 2.5) milímetros.
- d) Se coloca en la probeta la muestra previamente preparada, usando el embudo para evitar pérdidas de material. Se golpea firme

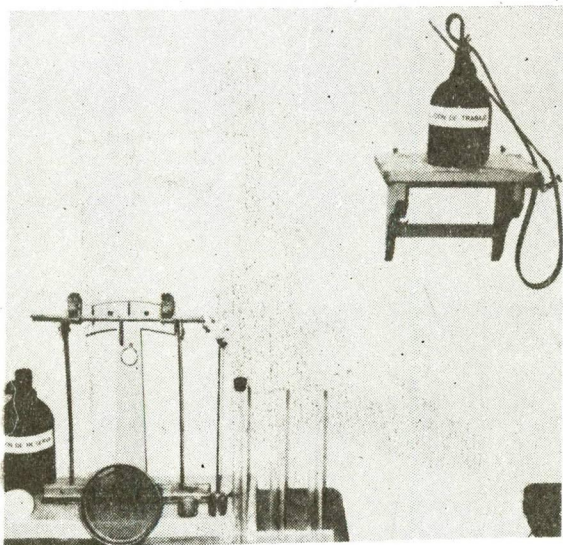


Figura Núm. 3. Equipo para la prueba de equivalente de arena y disposición de la solución de trabajo.

mente varias veces la base de la probeta contra la palma de la mano, para remover las burbujas de aire que hubieran quedado atrapadas y facilitar el humedecimiento del material Figura Núm. 4.

- e) Se deja reposar la muestra durante diez más menos un (10 ± 1) minutos, procurando no mover la probeta durante este lapso. A continuación se coloca el tapón de hule en la probeta y se afloja el material del fondo de ésta inclinándola y agitándola simultáneamente.
- f) Se agita la probeta en cualquiera de las

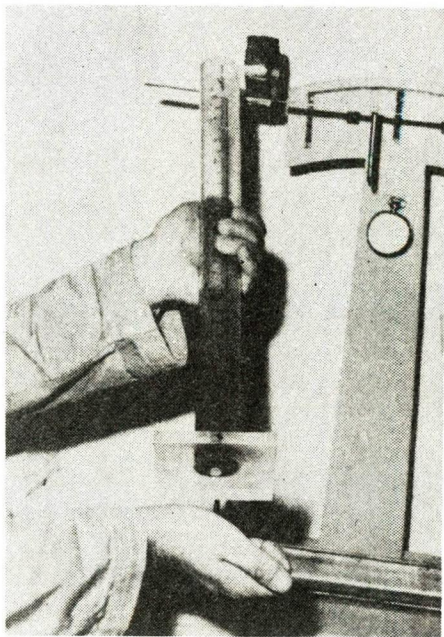


Figura Núm. 4. Golpeo de la base de la probeta.

dos formas que se indican a continuación:

- f1) Utilizando el agitador mecánico. En el caso de que sea accionado manualmente, se instala primero la probeta en las mordazas del dispositivo y en seguida se impulsa con la mano la parte superior del agitador, de manera que el índice de oscilaciones se desplace lo necesario para dar una amplitud de veinte (20) centímetros, estimados estando el operador enfrente del aparato. Se sueltan las barras flexibles y se sigue impulsando el aparato, aplicándole una fuerza horizontal con la mano, en el mismo sentido del primer im

pulso, con objeto de mantener a la probeta en un movimiento oscilatorio uniforme con el desplazamiento medio citado; se continúa la acción del agitado hasta completar cien (100) ciclos, Figura Núm. 5. En el caso de que el aparato sea accionado mediante un motor eléctrico, se calibrará el dispositivo para obtener una frecuencia de ciento setenta y cinco más menos dos (175 ± 2) ciclos por minuto y el tiempo de agitado será de cuarenta y cinco más menos un (45 ± 1) segundos.

- f2) Mediante agitado manual, para lo cual deberá sostenerse la probeta por sus extremos y agitarla vigorosamente con un movimiento lineal horizontal, hasta completar noventa (90) ciclos en treinta (30) segundos, con una carrera aproximada de veinte (20) centímetros, entendiéndose por ciclo un movimiento de oscilación completo. Para agitar satisfactoriamente la probeta, el operador deberá mover solamente los antebrazos relajando el tronco y en especial los hombros, Figura Núm. 6.
- g) Una vez efectuada la operación de agitado, se destapa la probeta, se coloca sobre la mesa de trabajo, se introduce en ella el tubo irrigador y se acciona de manera que al bajar, se vayan lavando las paredes de la probeta; se lleva el tubo hasta el fondo de la misma, efectuando simultáneamente con él un ligero picado al material, acompañado de movimientos rotatorios alternativos del tubo alrededor de su eje y trasladándolo por el contorno interior de la probeta. Esta acción tiene por objeto separar el material fino de las partículas gruesas con el fin

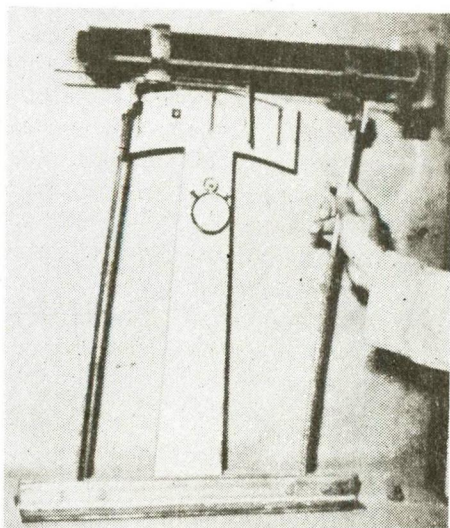


Figura Núm. 5. Agitación de la probeta con el aparato mecánico manual.

de dejarlo en suspensión, Figura Núm. 7

- h) Cuando el nivel del líquido llegue a trescientos ochenta y un (381) milímetros, se saca lentamente el irrigador de la probeta sin cortar el flujo de la solución, de manera que el líquido se mantenga aproximadamente al mismo nivel. Se regula el flujo un poco antes de que el tubo esté completamente afuera y se ajusta el nivel final en la probeta a trescientos ochenta y un (381) milímetros.
- i) Se deja la probeta en reposo durante veinte (20) minutos más menos quince (± 15) segundos, contados a partir del momento en que se haya extraído el tubo irrigador.

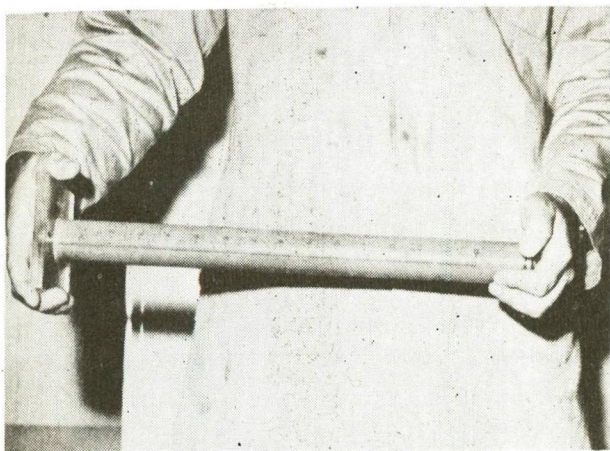


Figura Núm. 6. Agitación manual de la probeta.

j) Transcurrido el período de reposo, se lee en la escala de la probeta el nivel superior de los finos en suspensión, el cual se denominará "lectura de arcilla" o altura total, Figura Núm. 8. Si el nivel mencionado no se define claramente al cabo del tiempo especificado, se deja la muestra en reposo el tiempo necesario para que esto ocurra e inmediatamente después se registra dicho nivel, así como el tiempo total de sedimentación transcurrido; si este último excede de treinta (30) minutos, se repite la prueba empleando tres (3) muestras del mismo material, en cuyo caso deberá registrarse como "lectura de arcilla" definitiva, la correspondiente a la muestra en que se obtuvo el menor tiempo de sedimentación.

k) Después de hacer la "lectura de arcilla",

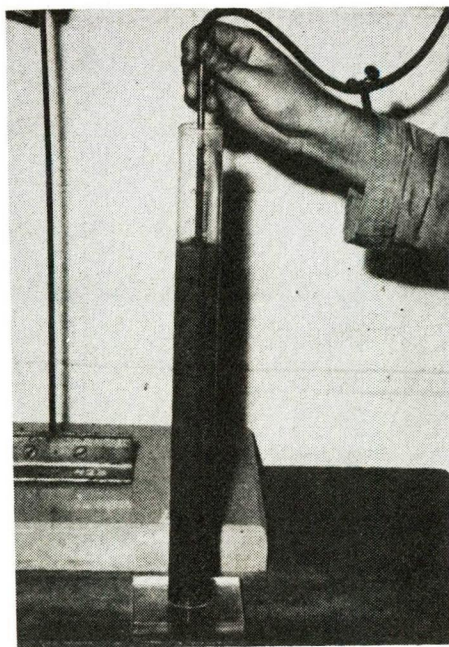


Figura Núm. 7. Lavado de la muestra con el irrigador.

se introduce lentamente el pisón en la probeta, hasta que por su propio peso el pisón descansa en la fracción gruesa, teniendo cuidado de no perturbar los finos en suspensión. Mientras desciende el pisón, se conservará uno de los vértices de su pie en contacto con la pared de la probeta, en las proximidades de la escala de graduación. Cuando el pisón se detenga al apoyarse en la fracción gruesa, se hace la lectura del nivel superior del indicador, se le restan doscientos cincuenta y cuatro (254) milímetros y se registra la diferencia como "lectura de arena", Figura Núm. 9.

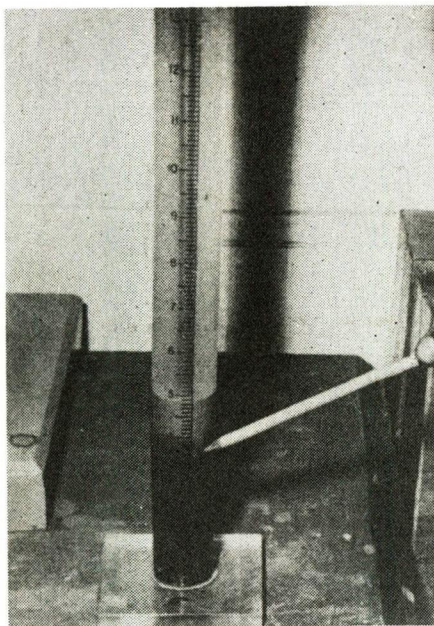


Figura Núm. 8. Lectura del nivel superior de los finos o "lectura de arcilla".

- 1) Cuando el nivel de la fracción fina o el de la gruesa queden entre dos divisiones de la escala de graduación, deberán registrarse las lecturas correspondientes a la división superior.

009-I.05 Se calcula el equivalente de arena empleando la siguiente fórmula:

$$EA = \frac{\text{Lectura de arena}}{\text{Lectura de arcilla}} \times 100$$

En donde:

EA es el equivalente de arena, en por ciento.

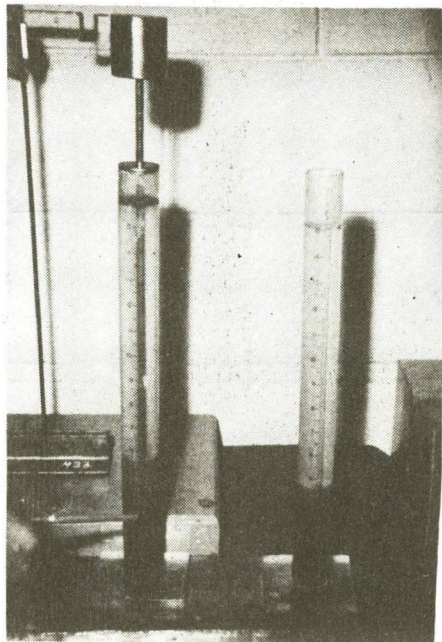


Figura Núm. 9. Lectura del nivel superior de la fracción gruesa o "lectura de arena".

Esta prueba se efectuará por duplicado y en cada caso el valor del equivalente de arena se aproximará al ente ro superior. Si los dos valores obtenidos no discrepan significativamente, se reportará el promedio aritmético como el valor del equivalente de arena; en caso contra rio se repetirá la prueba y se promediarán únicamente los resultados congruentes de todas las determinaciones.

009-I.06 Las causas más frecuentes de error en esta prueba son las siguientes:

- a) Que la operación del agitador no se efectúe en la forma establecida.

- b) Que el lavado de las partículas gruesas con el irrigador se lleve a cabo déficientemente, por obstrucciones en el tubo irrigador o en alguna otra parte del sifón, o bien por haberse formado grumos en la solución de trabajo.
- c) Que la probeta con la muestra de suelo se mueva durante el período de sedimentación o que esté colocada en un lugar sujeto a vibraciones.
- d) Que al ser introducido el pisón en la probeta se baje a una velocidad excesiva.
- e) Que se mueva el pisón de su posición de reposo antes de haber efectuado la lectura correspondiente.

009-I.07 En esta prueba se tendrán las siguientes precauciones:

- a) No exponer al sol los dispositivos de plástico, especialmente las probetas.
- b) No modificar las dimensiones de los orificios del tubo irrigador. Cuando por alguna causa, éstos se hayan obstruido y no sea posible destaparlos empleando métodos no destructivos, deberá usarse un alfiler o cualquier otro objeto puntiagudo, pero sin agrandar los orificios.
- c) No usar soluciones de trabajo que estén contaminadas por colonias de hongos, las cuales son fácilmente identificables por el aspecto viscoso que presentan algunas zonas de la solución. Con objeto de remover los hongos del sistema de irrigación, se prepara un solvente limpiador diluyendo hipoclorito de sodio en una cantidad igual de agua; se llena el recipiente de la solución de trabajo con el solvente, se deja fluir apro

ximadamente un (1) litro de solvente por el tubo irrigador y se cierra la pinza en el extremo de éste, para mantener el solvente en todo el sistema del sifón; se vuelve a llenar el recipiente con el solvente y se deja reposar el conjunto por lo menos ocho (8) horas. Después de este período, se vacía todo el contenido a través del tubo irrigador accionando el sifón, se quita este dispositivo de la boca del recipiente y se enjuaga todo el sistema con agua limpia. Después de esta operación el equipo estará nuevamente en condiciones de trabajo.

009-J DETERMINACION DEL INDICE DE DURABILIDAD

009-J.01 Para efectuar esta prueba se tomará en cuenta lo siguiente:

- a) El índice de durabilidad es una medida de la resistencia que oponen los materiales pétreos a producir finos perjudiciales cuando están trabajando en la obra bajo ciertas condiciones de humedad. El valor obtenido principalmente se emplea para juzgar la calidad de los materiales para bases de pavimento. La prueba consiste en someter una muestra de agregado pétreo, con determinada granulometría, a un proceso de degradación por agitado en húmedo.

009-J.02 El equipo y materiales necesarios para la prueba son los siguientes:

Los que se requieren para la prueba de equivalente de arena con el agitador accionado con motor eléctrico, como se indica en la cláusula (009-I) de este Capítulo.

Recipiente para lavado mecánico con las dimensiones y especificaciones mostradas en la Figura Núm. 10.

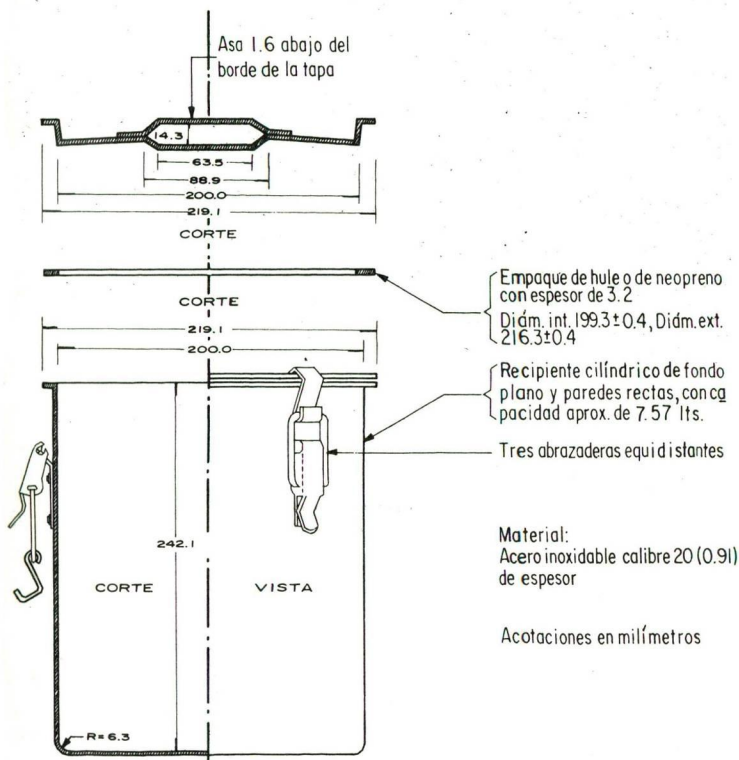


FIGURA NUM. 10 RECIPIENTE PARA EL LAVADO EN LA PRUEBA DE DURABILIDAD

Charolas redondas.

Agitador mecánico para mallas tipo Tyler modificado, para accionar el recipiente de lavado y operar a doscientos ochenta y cinco más menos diez (285 ± 10) ciclos por minuto, Figura Núm. 11.

Agitador mecánico para mallas tipo Ro-Tap.

Horno con control termostático que permita mantener una temperatura de ciento cinco más menos cinco grados centígrados ($105 \pm 5^{\circ}\text{C}$).

Probeta con capacidad de mil (1000) centímetros cúbicos y graduaciones de diez (10) centímetros cúbicos.

Pipeta con capacidad de diez (10) centímetros cúbicos y graduaciones de un (1) centímetro cúbico.

Mallas con aberturas cuadradas, Núms. 19.0, 12.5, 9.5, 4.75, 2.0, 0.850, 0.425, 0.250, 0.150 y 0.075.

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

009-J.03 La preparación de la muestra deberá efectuarse como se indica a continuación:

- a) Se criba una porción representativa del material preparado como se indica en la cláusula (009-C) de este Capítulo, suficiente para obtener ocho (8) kilogramos de la fracción que pasa la malla Núm. 19.0 y se retiene en la Núm. 4.75, y un (1) kilogramo de la fracción que pasa la malla últimamente mencionada. Se identifica como material grueso al que pasa la malla Núm. 19.0 y se retiene en la Núm. 4.75 y como material fino al que pasa esta última malla. Se dese

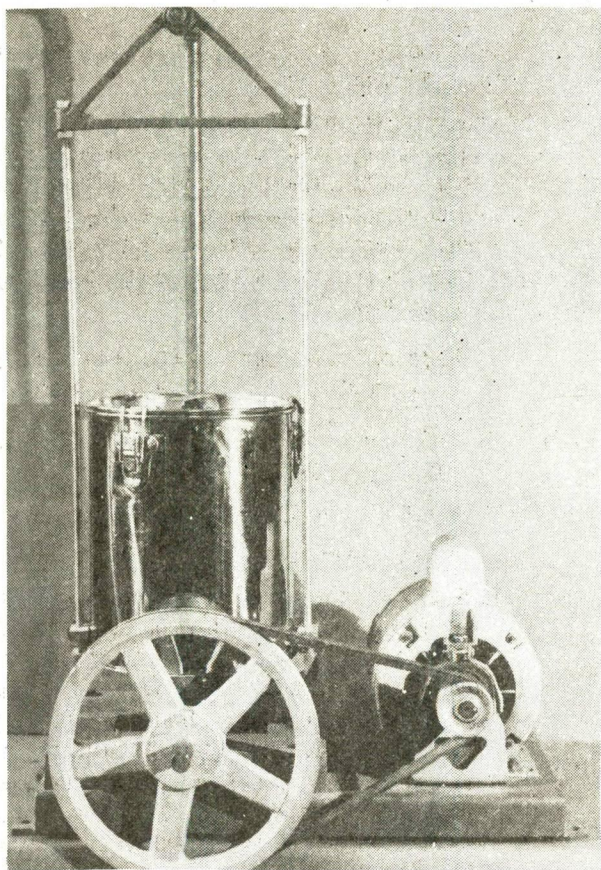


Figura Núm. 11. Agitador mecánico con el recipiente instalado para lavar las muestras.

cha la porción retenida en la malla Núm. 19.0.

- b) Se separa y pesa el material grueso según sus retenidos en las mallas Núms. 12.5, 9.5 y 4.75 y se obtienen y anotan los porcenta

jes en peso que dichas fracciones representen del material grueso.

- b1) Se integran dos (2) muestras preliminares pesando para cada una las cantidades indicadas en la siguiente tabla, siempre que el porcentaje de cada una de las fracciones, determinado como se indica en el párrafo b) de este inciso, sea igual o mayor de diez (10).

Tamaño del material Malla Núm.	Peso del material seco en gramos.
19.0 a 12.5	1050 $\pm$ 10
12.5 a 9.5	550 $\pm$ 10
9.5 a 4.75	900 $\pm$ 5
Peso de la muestra	2500 $\pm$ 25

- b2) Si el porcentaje de alguna o algunas de las fracciones, determinadas como se indica en el subpárrafo b) de este inciso, es menor de diez (10), se calculan y pesan las porciones correspondientes para integrar las dos (2) muestras preliminares como sigue: las fracciones con porcentaje inferior a diez (10) se utilizan en la proporción en que se encuentra cada una y las que están en un porcentaje superior al referido, se emplean en cantidades proporcionales a los pesos que para las mismas se indican en la tabla anterior a fin de completar los dos mil quinientos (2500) gramos de cada muestra. Los siguientes ejemplos ilustran lo descrito en este subpárrafo.

Ejemplo 1: La fracción del material entre las mallas Núms. 19.0 a 12.5 es menor del diez por ciento (10%).

TAMAÑO MALLA NUM.	POR CIENTO	C A L C U L O	PESO DEL MATE RIAL EN GRAMOS	TOLERANCIA
19.0 a 12.5	6	0.06×2500	150	± 10
12.5 a 9.5	26	$\frac{550 (2500 - 150)}{550 + 900}$	891	± 10
9.5 a 4.75	68	$\frac{900 (2500 - 150)}{550 + 900}$	1459	± 5
T O T A L	100		2500	± 25

EJEMPLO 2: Las fracciones del material entre las mallas Núms. 19.0 a 12.5 y de 12.5 a 9.5 son menores del diez por ciento (10%).

TAMAÑO MALLA NUM.	POR CIENTO	C A L C U L O	PESO DEL MATE RIAL EN GRAMOS	TOLERANCIA
19.0 a 12.5	4	0.04×2500	100	± 10
12.5 a 9.5	7	0.07×2500	175	± 10
9.5 a 4.75	89	$2500 - (100 + 175)$	2225	± 5
T O T A L	100		2500	± 25

b3) Se coloca una de las muestras preliminares en el recipiente de lavado, se agregan mil más menos cinco (1000 ± 5) centímetros cúbicos de agua filtrada y simultáneamente se pone en movimiento el cronómetro.

b4) Se coloca y ajusta la tapa en el recipiente de lavado, se instala y se fija dicho recipiente en el agitador mecánico y se inicia el agitado cuando el cronómetro registre un (1) minuto más menos diez (± 10) segundos y se continúa éste durante un lapso de dos (2) minutos más menos cinco (± 5) segundos.

b5) Al terminar el período de agitado, se retira el recipiente del agitador mecánico, se remueve la tapa y se lava el contenido sobre la malla Núm. 4.75, vaciando en una charola el retenido en dicha malla. Para facilitar el paso de las partículas finas a través de la malla, se debe aplicar sobre ésta un chorro de agua a baja presión hasta que el agua que pasa por la malla salga clara.

b6) Se repite en la segunda muestra preliminar el procedimiento indicado en los subpárrafos b3) a b5) de este párrafo; a continuación se combina todo el material lavado obtenido de ambas muestras y se seca en el horno hasta peso constante a una temperatura de ciento cinco más menos cinco grados centígrados ($105 \pm 5^{\circ}\text{C}$).

b7) Se saca el material del horno y se deja enfriar a la temperatura ambiente; en seguida se separa según sus retenidos en las mallas Núms. 12.5, 9.5 y 4.75 y se desecha el material que pasa esta última malla.

b8) Se prepara la muestra de prueba según una (1) de las dos (2) alternativas siguientes: Si las muestras preliminares se prepararon según los pesos indicados en la tabla del subpárrafo b1) de este párrafo, se prepara la muestra de prueba de acuerdo con dichos pesos tomando las porciones representativas de cada tamaño, del material lavado respectivo. Si los pesos del material indicados en la tabla antes referida se ajustaron según se indicó en el subpárrafo b2) de este párrafo, se utiliza todo el material que representa el te

maño o tamaños inferiores al diez por ciento (10%) obtenido de las muestras preliminares lavadas, y se incrementa proporcionalmente el peso del tamaño o tamaños restantes, de tal manera que se obtenga una muestra de prueba de dos mil quinientos (2500) gramos. Ocasionalmente puede ser necesario lavar una tercera muestra preliminar para obtener el peso requerido de material de alguno de los tamaños.

c) Se prepara el material fino como se indica a continuación:

- c1) Se toma, por cuarteo una porción representativa del material que pasa la malla Núm. 4.75, obtenida como se indica en el párrafo a) de este inciso, en cantidad suficiente para obtener quinientos más menos veinticinco (500 ± 25) gramos del material seco.
- c2) Se coloca esta porción en el recipiente de lavado, se agregan mil más menos cinco (1000 ± 5) centímetros cúbicos de agua filtrada y simultáneamente se pone en movimiento el cronómetro.
- c3) Se coloca y ajusta la tapa en el recipiente de lavado, se instala y se fija dicho recipiente en el agitador mecánico y se inicia el agitado cuando el cronómetro registra diez (10) minutos más menos treinta (± 30) segundos, se continúa el agitado durante un lapso de dos (2) minutos más menos cinco (± 5) segundos.
- c4) Al terminar el período de agitado, se retira el recipiente del agitador mecánico, se remueve la tapa y se lava el contenido sobre la malla Núm. 0.075, vaciando en

una charola el retenido en dicha malla, ayudándose con agua. Para facilitar el paso de las partículas finas a través de la malla, se aplica sobre ésta un chorro de agua a baja presión, hasta que el agua que pasa por la malla salga clara. Cuando se trata de muestras arcillosas o limosas, puede ser necesario agregar más agua al recipiente de lavado, después del período de agitado y antes de lavarlas sobre la malla Núm. 0.075, para evitar la obstrucción de ésta.

- c5) Se coloca en posición inclinada la charola que contiene el material lavado que se retuvo en la malla Núm. 0.075 y se deja en reposo hasta que el agua se observe clara; a continuación se elimina ésta por decantación.
- c6) Se seca al horno la muestra lavada, hasta peso constante, a una temperatura de ciento cinco más menos cinco grados centígrados ($105 \pm 5^{\circ}\text{C}$), se saca del horno y se deja enfriar a la temperatura ambiente.
- c7) Se criba la muestra lavada y seca, por las mallas Núms. 2.0, 0.850, 0.425, 0.250, 0.150 y 0.075, usando el agitador mecánico durante un período de diez (10) minutos. Esta operación tiene por objeto disgregar nuevamente el material.
- c8) Después de cribada la muestra, se mezclan perfectamente todas sus fracciones, incluyendo el retenido en la charola de fondo y se obtiene por cuarteo la cantidad suficiente para llenar en forma ligeramente excedida la cápsula metálica de ochenta y cinco más menos cinco (85 ± 5) centíme

tros cúbicos de capacidad. Al llenar la cápsula, se golpea su parte inferior sobre una superficie dura, para facilitar el acomodo de las partículas.

009-J.04 La prueba se efectúa en la forma siguiente:

a) Para el material grueso:

a1) Se coloca la probeta de equivalente de arena sobre la mesa de trabajo, la cual no deberá estar sujeta a vibraciones, se vierten en ella siete (7) centímetros cúbicos de la solución de reserva y se instala en dicha probeta el embudo.

a2) Se vacía la muestra de prueba en el recipiente de lavado, se agregan mil más menos cinco (1000 ± 5) centímetros cúbicos de agua y simultáneamente se pone en movimiento el cronómetro.

a3) Se coloca y ajusta la tapa sobre el recipiente de lavado, se instala y se fija dicho recipiente en el agitador mecánico, y se inicia el agitado cuando el cronómetro registra un (1) minuto más menos diez (± 10) segundos, continuando éste durante un lapso de diez (10) minutos más menos quince (± 15) segundos.

a4) Al terminar el período de agitado, se retira el recipiente del agitador mecánico, se remueve la tapa y para mantener los finos en suspensión se agita el recipiente manteniéndolo en posición vertical y moviéndolo vigorosamente en forma circular cinco (5) o seis (6) veces. Inmediatamente después se vierte el contenido del recipiente sobre las mallas Núms. 2.0 y 0.075 previamente acopladas y sostenidas sobre una charola limpia, en la cual se

depositará el material que pasa dichas ma
llas.

- a5) Se vacía el contenido de la charola a una probeta de mil (1000) centímetros cúbicos de capacidad, se le agrega agua destilada hasta completar mil más menos cinco (1000 ± 5) centímetros cúbicos; se agita manu
almente la probeta para poner en suspensión los finos e inmediatamente después se vierte la suspensión a la probeta de equi
valente de arena que contiene la solución de reserva, hasta que el nivel del líqui
do en ésta alcance la marca de trescien
tos ochenta y un (381) milímetros.
- a6) Se remueve el embudo de la probeta, se le coloca el tapón y se mezcla su contenido, volteándola alternativamente, de tal mane
ra que la parte superior de la probeta es
té hacia abajo y la inferior hacia arriba, de modo que en un período de treinta y cinco (35) segundos la burbuja recorra veinte (20) veces la longitud de la probe
ta.
- a7) Al terminar el proceso de mezclado, se co
loca la probeta sobre la mesa de trabajo, se remueve el tapón y se deja en reposo durante veinte (20) minutos más menos quince (± 15) segundos. Al terminar este período se lee y registra la altura H de la columna sedimentada, con una aproxima
ción de cero punto veinticinco (0.25) cen
tímetros. Si después de transcurridos los veinte (20) minutos no se define la línea de demarcación de la columna sedimentada, se deja la probeta en reposo el tiempo ne
cesario para que se forme dicha línea y cuando esto ocurra, se lee y anota la al

tura de la columna sedimentada y el tiempo total requerido para que dicha columna se forme.

- b) El procedimiento de prueba para el material fino se efectúa de acuerdo con lo indicado en el inciso (009-I.04) de este Capítulo, utilizando el sistema de agitado y la frecuencia indicados en el subpárrafo f1), párrafo f), de dicho inciso, con la salvedad de que el tiempo de agitado será de diez (10) minutos más menos quince (± 15) segundos.

009-J.05 Se calculan y reportan los índices de durabilidad para los materiales grueso y fino en la forma siguiente:

- a) Para el material grueso, se obtendrán los valores del índice de durabilidad utilizando la Tabla Núm. I ó, mediante la siguiente fórmula:

$$D_g = 30.3 + 20.8 \cot \left[(0.29 + 0.059H) \times 57.2958 \right]$$

En donde:

D_g es el índice de durabilidad del material grueso.

H es la altura del sedimento en centímetros.

57.2958 es el valor en grados de un radián.

- b) Para el material fino, se calcula el índice de durabilidad mediante la siguiente fórmula:

$$D_f = \frac{\text{Lectura de arena}}{\text{Lectura de arcilla}} \times 100$$

En donde:

D_f es el índice de durabilidad del material fino.

TABLA NUM. I
INDICE DE DURABILIDAD DEL MATERIAL GRUESO

Altura del sedimento		D _g	altura del sedimento		D _g	Altura del sedimento		D _g	Altura del sedimento		D _g	Altura del sedimento		D _g
Pulg.	cm.		Pulg.	cm.		Pulg.	cm.		Pulg.	cm.		Pulg.	cm.	
0.0	0.0	100	3.0	7.6	53	6.0	15.2	39	9.0	22.9	29	12.0	30.5	18
0.1	0.2	96	3.1	7.9	52	6.1	15.5	38	9.1	23.1	29	12.1	30.7	18
0.2	0.5	93	3.2	8.1	52	6.2	15.8	38	9.2	23.4	28	12.2	31.0	18
0.3	0.8	90	3.3	8.4	51	6.3	16.0	38	9.3	23.6	28	12.3	31.2	17
0.4	1.0	87	3.4	8.6	51	6.4	16.3	37	9.4	23.9	28	12.4	31.5	17
0.5	1.3	85	3.5	8.9	50	6.5	16.5	37	9.5	24.1	27	12.5	31.8	16
0.6	1.5	82	3.6	9.1	49	6.6	16.8	37	9.6	24.4	27	12.6	32.0	16
0.7	1.8	80	3.7	9.4	49	6.7	17.0	36	9.7	24.6	27	12.7	32.3	15
0.8	2.0	78	3.8	9.6	48	6.8	17.3	36	9.8	24.9	26	12.8	32.5	15
0.9	2.3	76	3.9	9.9	48	6.9	17.5	36	9.9	25.2	26	12.9	32.8	14
1.0	2.5	74	4.0	10.2	47	7.0	17.8	35	10.0	25.4	26	13.0	33.0	14
1.1	2.8	73	4.1	10.4	47	7.1	18.0	35	10.1	25.6	25	13.1	33.3	13
1.2	3.0	71	4.2	10.7	46	7.2	18.3	35	10.2	25.9	25	13.2	33.5	13
1.3	3.3	70	4.3	10.9	46	7.3	18.5	34	10.3	26.2	25	13.3	33.8	12
1.4	3.6	68	4.4	11.2	45	7.4	18.8	34	10.4	26.4	24	13.4	34.0	12
1.5	3.8	67	4.5	11.4	45	7.5	19.0	34	10.5	26.7	24	13.5	34.3	11
1.6	4.1	66	4.6	11.7	44	7.6	19.3	33	10.6	26.9	24	13.6	34.5	11
1.7	4.3	65	4.7	11.9	44	7.7	19.6	33	10.7	27.2	23	13.7	34.8	10
1.8	4.6	63	4.8	12.2	43	7.8	19.8	33	10.8	27.4	23	13.8	35.0	9
1.9	4.8	62	4.9	12.4	43	7.9	20.1	32	10.9	27.7	23	13.9	35.3	9
2.0	5.1	61	5.0	12.7	43	8.0	20.3	32	11.0	27.9	22	14.0	35.6	8
2.1	5.3	60	5.1	13.0	42	8.1	20.6	32	11.1	28.2	22	14.1	35.8	7
2.2	5.6	59	5.2	13.2	42	8.2	20.8	31	11.2	28.4	22	14.2	36.1	7
2.3	5.8	59	5.3	13.5	41	8.3	21.1	31	11.3	28.7	21	14.3	36.3	6
2.4	6.1	58	5.4	13.7	41	8.4	21.3	31	11.4	29.0	21	14.4	36.6	5
2.5	6.4	57	5.5	14.0	40	8.5	21.6	30	11.5	29.2	20	14.5	36.8	4
2.6	6.6	56	5.6	14.2	40	8.6	21.8	30	11.6	29.5	20	14.6	37.1	4
2.7	6.9	55	5.7	14.5	40	8.7	22.1	30	11.7	29.7	20	14.7	37.3	3
2.8	7.1	54	5.8	14.7	39	8.8	22.4	29	11.8	30.0	19	14.8	37.6	2
2.9	7.4	54	5.9	15.0	39	8.9	22.6	29	11.9	30.2	19	14.9	37.8	1
3.0	7.6	53	6.0	15.2	39	9.0	22.9	29	12.0	30.5	18	15.0	38.1	0

- c) Si el índice de durabilidad no resulta un número entero, se aproximará éste al inmediato superior.
- d) Se reporta como índice de durabilidad el menor de los dos (2) valores obtenidos, D_g para el material grueso y D_f para el material fino. En ningún caso se promediarán estos dos (2) valores.

009-J.06 En esta prueba se tendrán en cuenta las causas de error y las precauciones indicadas en los incisos (009-I.06) y (009-I.07), de este Capítulo, correspondientes a la prueba de equivalente de arena y además, se verificará frecuentemente que no exista desajuste entre la leva y el excéntrico del agitador mecánico modificado.

009-K PRUEBA DE VALOR CEMENTANTE

009-K.01 La determinación del valor cementante de un suelo tiene por objeto conocer las características de acuñamiento y cementación de sus partículas, propiedades que influyen en la facilidad de compactación y que le permiten conservar su estabilidad en estado seco. Esta prueba se efectúa sobre la fracción del suelo que pasa la malla Núm. 4.75 y su valor es una función de la forma y acomodo de las referidas partículas, de la plasticidad de los finos y de otros fenómenos fisicoquímicos. Es conveniente que en todos los casos los suelos que forman la estructura del pavimento tengan un cierto valor cementante; sin embargo, cuando se trate de mejorar el valor cementante de un material, no se le deben adicionar finos plásticos que afecten su buen comportamiento, por lo que siempre debe juzgarse el valor cementante de un material relacionándolo con sus características de plasticidad.

009-K.02 El equipo necesario para efectuar esta prueba es el siguiente:

Tres moldes de lámina galvanizada del Núm.

12, de ciento uno punto seis (101.6) milímetros de altura y de sección cuadrada, con dimensiones interiores de setenta y seis punto dos (76.2) milímetros por lado. Cada molde deberá tener bisagras en dos (2) aristas opuestas, una de las cuales estará provista de un pasador removible que permita abrirlo.

Placa de compactación de acero de forma cuadrada de setenta y cinco (75) milímetros por lado y siete punto nueve (7.9) milímetros de espesor, con un vástago central de forma cilíndrica de diecinueve (19) milímetros de diámetro y cincuenta punto ocho (50.8) milímetros de altura, Figura Núm. 12.

Pisón metálico con peso de novecientos ocho (908) gramos y superficie circular de apisonado con diámetro de diecinueve punto cero (19.0) milímetros, acoplado a una guía metálica tubular para dar una altura de caída libre de cuarenta y cinco (45) centímetros, Figura Núm. 12.

Balanza de cinco (5) kilogramos de capacidad y cinco (5) gramos de aproximación.

Malla Núm. 4.75.

Probeta de mil (1000) centímetros cúbicos de capacidad con graduaciones a cada diez (10) centímetros cúbicos.

Probeta de cien (100) centímetros cúbicos de capacidad con graduaciones a cada centímetro cúbico.

Charolas rectangulares de lámina galvanizada.

Cucharón de lámina galvanizada.

Máquina de compresión con capacidad mínima

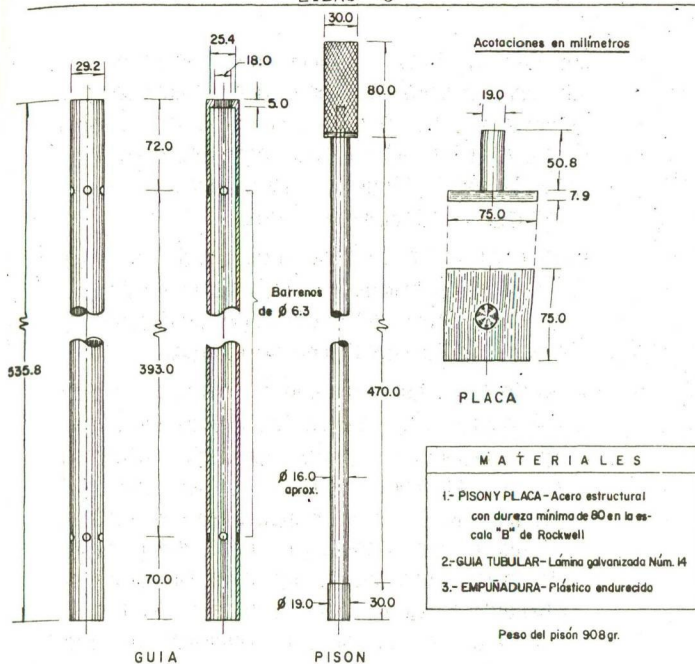


Figura Núm. 12. Pistón y placa de compactación para la prueba de valor cementante.

de dos mil quinientos (2500) kilogramos, que permita hacer lecturas cuando menos a cada diez (10) kilogramos de aplicación de la carga.

Horno con termostato que mantenga una temperatura de ciento cinco más menos cinco grados centígrados ($105 \pm 5^\circ\text{C}$).

009-K.03 La prueba se efectúa en la forma siguiente:

- a) De una muestra preparada de acuerdo con lo indicado en la cláusula (009-C) de este Capítulo, se toma por cuarteo la porción necesaria para obtener aproximadamente tres (3) kilogramos de material que pase la malla Núm. 4.75.
- b) Se agrega agua en cantidad suficiente para

que el material alcance su humedad óptima de compactación, determinada de acuerdo con alguno de los métodos descritos en la cláusula (6.01.01.002-K) de este Libro 6, y se mezcla perfectamente hasta lograr una distribución uniforme del agua.

- c) Se pesan tres (3) porciones iguales de material en cantidad suficiente para fabricar en los moldes el mismo número de especímenes de forma sensiblemente cúbica.
- d) Se coloca sobre un apoyo firme, de superficie horizontal, uno de los moldes previamente engrasado; se vierte en dicho molde una de las porciones de material, en tres (3) capas, y utilizando la placa se compacta cada una de éstas mediante quince (15) golpes del pisón, con una altura de caída libre de cuarenta y cinco (45) centímetros, Figura Núm. 13. Se repite el procedimiento anterior en las dos (2) porciones de material restantes, para obtener los tres (3) especímenes de prueba.
- e) Se colocan los moldes que contienen los especímenes dentro del horno a una temperatura de cuarenta grados centígrados (40°C), y se conservan en estas condiciones hasta que la humedad se reduzca lo suficiente para permitir la remoción de los moldes, sin dañar los especímenes. En algunos casos la naturaleza del material compactado permite remover el molde inmediatamente después de elaborado el espécimen.
- f) Se sacan los especímenes de los moldes y se mantienen en el horno a una temperatura de ciento cinco más menos cinco grados centígrados ($105 \pm 5^\circ\text{C}$), hasta lograr que se sequen. El período de secado puede variar de dieciséis (16) a veinticuatro (24) horas.

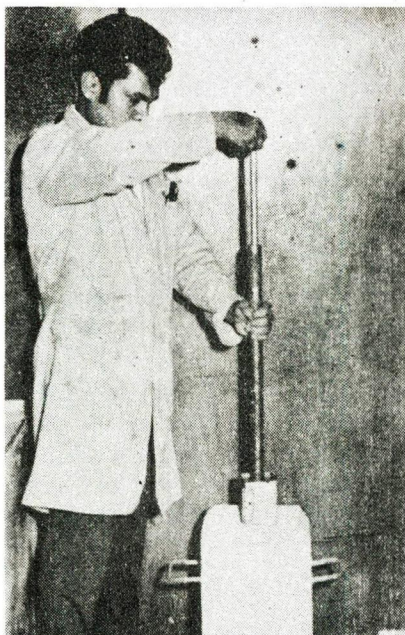


Figura Núm. 13. Elaboración de especímenes para la prueba de valor cementante.

- g) Se extraen los especímenes del horno y se dejan enfriar a la temperatura del medio ambiente.
- h) Se coloca uno de los especímenes del grupo en la máquina de compresión y, conservando la posición original en la que fue compactado, se le colocan placas de cartón sobre sus caras superior e inferior o bien se cabecean con azufre dichas caras, para dejarlas sensiblemente horizontales; se procede a aplicarle carga en forma lenta y uniforme, hasta que el espécimen se rompa y se registra en kilogramos la carga máxima que resistió. A continuación se repite este procedi

miento en cada uno de los especímenes restantes.

009-K.04 Se calcula la resistencia a la compresión sin confinar en cada uno de los especímenes, dividiendo su carga máxima de ruptura entre el área de su sección promedio. Se reporta como valor cementante el promedio de las resistencias a la compresión sin confinar obtenidas en los tres (3) especímenes, expresándolo en kilogramos por centímetro cuadrado, con aproximación de cero punto uno (0.1). Si uno de los valores obtenidos discrepa notablemente de los otros dos, se desechará para el cálculo siempre que todos cumplan las especificaciones respectivas; en caso de que uno de los valores no cumpla con lo especificado, se repetirá la prueba y se reportará como valor cementante el promedio de los valores congruentes de ambos grupos de especímenes.

009-K.05 Al efectuarse esta prueba deberán tenerse las siguientes precauciones:

- a) Manejar cuidadosamente los especímenes para evitar que se deterioren, sobre todo al sacarlos de los moldes.
- b) Verificar que los especímenes estén secos antes de someterlos a la prueba de compresión.
- c) Evitar que la temperatura de secado sea mayor que la especificada.

009-L DETERMINACION DE LOS PESOS ESPECIFICOS
O PESOS VOLUMETRICOS

009-L.01 Para la determinación del peso específico o volumétrico de materiales para revestimientos, sub-bases y bases de pavimento, se tomará en cuenta lo indicado en el inciso (6.01.01.002-J.01) de este Libro 6, debiendo llevarse a cabo la prueba que corresponda de las que a continuación se mencionan, según el estado en que se encuentre el material.

009-L.02 El peso específico del material suelto se determinará de acuerdo con el procedimiento descrito en el inciso (6.01.01.002-J.02).

009-L.03 El peso específico del material seco y suelto en el laboratorio se determinará de acuerdo con el procedimiento descrito en el inciso (6.01.01.002-J.03), excepto en lo que corresponde a la preparación de la muestra, que deberá efectuarse tomando en cuenta lo que se indica en la cláusula (009-C) de este Capítulo.

009-L.04 El peso específico del material en el banco se determinará en la zona de ataque aplicando el método de la trompa y arena o el del agua, según convenga, que se describen en los incisos (6.01.01.002-J.05) y (6.01.01.002-J.06), respectivamente. Con el fin de contar con datos promedio, en general, se efectuará un mínimo de tres (3) determinaciones por cada estudio de banco, previamente a su explotación; además, por cada seis mil (6000) metros cúbicos o fracción de material que se extraigan, se hará una determinación dependiendo de la configuración y uniformidad del banco.

009-L.05 El peso específico del material en el vehículo de transporte, se determinará tomando en cuenta lo siguiente:

- a) Este procedimiento se efectúa en la obra y consiste en obtener el peso del material cargado en uno de los vehículos de los que se utilizan en los trabajos de acarreo y relacionar dicho peso con el volumen que ocupa el material en las condiciones descritas. El peso específico en el vehículo de transporte se utiliza principalmente en el cálculo de coeficientes de variación volumétrica para verificar volúmenes de acarreo, haciéndose notar que presenta variaciones de consideración, de acuerdo con el contenido de agua del material, el sistema de extracción

que se haya seguido para la obtención del mismo, el equipo de carga utilizado y el tratamiento aplicado; por lo anterior, su determinación debe realizarse en las condiciones que representen las de trabajo y durante la ejecución de la correspondiente fase de la obra. Con el fin de obtener datos promedio se efectuará una determinación por cada seis mil (6000) metros cúbicos o fracción, dependiendo de la uniformidad del material y en ningún caso se harán menos de tres (3) determinaciones.

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

Un vehículo de transporte de los que se utilizan en la obra.

El equipo de carga empleado en la misma.

Báscula con capacidad mínima de quinientos (500) kilogramos y aproximación de un (1) kilogramo, o bien una báscula para pesar camiones, con aproximación de cero punto cinco por ciento (0.5%), si se dispone de ella.

Recipientes metálicos o de madera, con volumen mínimo de cien (100) decímetros cúbicos.

- c) El procedimiento de prueba es el siguiente:

c1) Se selecciona un (1) vehículo de los que se utilizan en el acarreo del material de que se trate y se le carga en forma similar a como se hace para la ejecución de los trabajos, hasta llenar la caja.

c2) Se enrasa con pala el material que se tiene en la caja del vehículo, evitando alterar su acomodo original.

c3) Se determina el volumen, V, que ocupa el material en el citado vehículo de trans

porte, en metros cúbicos, con aproximación de un (1) centésimo de metro cúbico.

- c4) Se pesa dicho material y se anota su peso, w_m , en kilogramos, con aproximación de cincuenta (50) kilogramos; para efectuar esta operación, cuando se utilice la báscula de quinientos (500) kilogramos de capacidad, el material contenido en el vehículo se pesará en fracciones utilizando recipientes.
- c5) Del material que se vaya pesando y según el tiempo que tarde esta operación, se tomarán dos o más muestras, cuyo peso esté de acuerdo con su tamaño máximo, como se indica en la tabla del párrafo (6.01.01.002-E.01.d) de este Libro 6, se determina el contenido de agua a las citadas muestras, siguiendo el procedimiento descrito en la cláusula (6.01.01.002-E); se promedian los resultados obtenidos y se anota dicho promedio como la humedad, w , del material, en por ciento.
- d) En esta prueba se calcula lo siguiente:
- d1) El peso específico del material húmedo en el vehículo de transporte, aplicando la siguiente fórmula:

$$\gamma_m = \frac{w_m}{V}$$

En donde:

- γ_m es el peso específico del material húmedo en el vehículo de transporte, en kilogramos por metro cúbico.
- w_m es el peso del material húmedo colocado en el vehículo de transporte, en kilogramos.

V es el volumen de la caja del vehículo de transporte, en metros cúbicos.

- d2) El peso específico del material seco en el vehículo de transporte, aplicando la siguiente fórmula:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_m}{100 + w} \times 100$$

En donde:

γ_d es el peso específico del material seco en el vehículo de transporte, en kilogramos por metro cúbico.

γ_m es el peso específico o volumétrico del material húmedo en el vehículo de transporte, en kilogramos por metro cúbico.

w es el contenido de agua del material en el vehículo, en por ciento.

- e) Se reportan como valores correspondientes al material cargado en el vehículo de transporte, el peso específico en estado húmedo, γ_m , y el peso específico en estado seco, γ_d , en kilogramos por metro cúbico, así como la humedad, w, en por ciento.

- f) Las causas más frecuentes de error en esta prueba son las siguientes:

f1) Que el vehículo utilizado en la determinación presente irregularidades en su caja, que impidan la correcta medición de su volumen.

f2) Que al efectuar el enrase del material colocado en el vehículo, se altere su acomodo del material.

f3) Que al efectuar la prueba se hagan opera

ciones que propicien la pérdida de humedad o que no se tome un número suficiente de muestras para determinarla correctamente.

009-L.06 El peso específico del material en el almacenamiento se determinará aplicando el método de la trompa y arena o del agua según convenga, que se describen en los incisos (6.01.01.002-J.05) y (6.01.01.002-J.06), respectivamente. Esta determinación se debe llevar a cabo en superficies o zonas sensiblemente horizontales tomando las debidas precauciones, en virtud del estado suelto del material, el cual se altera y se derrumba con facilidad, por lo que la prueba deberá limitarse a la profundidad en que no se presenten derrumbes.

009-L.07 El peso específico del material en el camellón se determinará tomando en cuenta lo siguiente:

a) Esta prueba se lleva a cabo en la obra, bajo condiciones que no propicien variaciones en la humedad, a los materiales que se encuentran formando un camellón; consiste en determinar el peso del material comprendido entre dos secciones contiguas y relacionarlo con el volumen que ocupa en el camellón. Los resultados de esta prueba se utilizan en el cálculo de coeficientes de variación volumétrica, siendo indispensable en este caso efectuar la prueba al mismo tiempo que se determina el volumen del camellón. Será necesario realizar tres pruebas como mínimo, por cada seis mil (6000) metros cúbicos o fracción de material, pero siempre se hará por lo menos una prueba por cada kilómetro de camellón.

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

Báscula con capacidad mínima de ciento vein

te (120) kilogramos, con aproximación de un (1) kilogramo.

Recipientes metálicos o de madera, con capacidad mínima de cien (100) decímetros cúbicos.

Lonas ahuladas preferentemente de forma cuadrada, con dimensiones mínimas de dos (2) metros por lado.

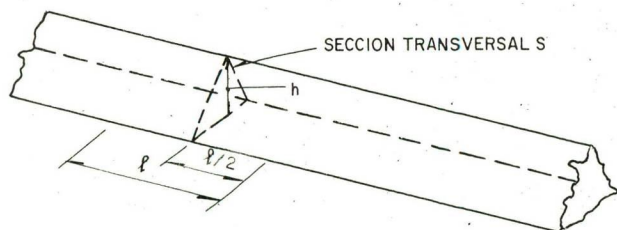
Palas.

Reglas de madera de dos (2) metros, hilo para reventones y flexómetros.

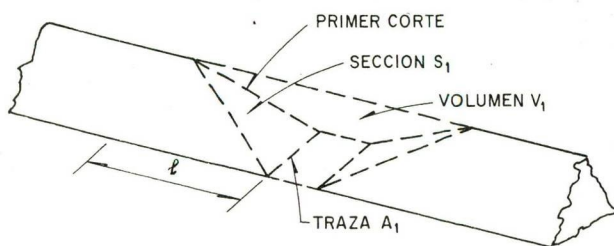
c) La prueba se efectúa al mismo tiempo que se mide el camellón para determinar su volumen, procediendo en la forma siguiente:

c1) Se selecciona un tramo de camellón que como mínimo tenga una longitud, L , igual a tres (3) veces la altura del mismo, que sea representativo del camellón en estudio y que no esté ubicado en sus extremos. En la zona contigua al tramo de camellón seleccionado, del lado en que haya más amplitud y comodidad, se efectúa la limpieza del piso en una área de aproximadamente seis (6) metros cuadrados.

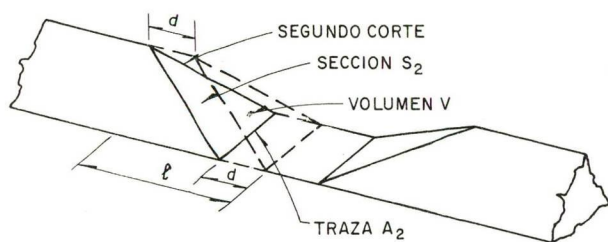
c2) Se determina el área, S , de la sección transversal correspondiente a la parte media del tramo de longitud, L , seleccionado, Figura Núm. 14a, siguiendo el procedimiento de nivelación topográfica o bien, por medición directa con aproximación al centímetro, sin alterar el acomodo original del material que forma dicho camellón. Se registra el área, S , con aproximación de cero punto cero un (0.01) metro cuadrado.



a)



b)



c)

FIGURA NUM. 14 ETAPAS DE LA DETERMINACION DEL PESO VOLUMETRICO EN EL CAMELLON.

- c3) Se extrae y se desecha el volumen del material V_1 , Figura Núm. 14 b, de un extremo de la longitud ℓ seleccionada, suficiente para efectuar con facilidad las demás etapas de la prueba; se corta cuidadosamente para formar la sección S_1 de tal manera que sea lo más plana posible, con pendiente de dos a uno (2 a 1) y que su traza A_1 con la superficie de apoyo del camellón sea perpendicular al eje del mismo y se marca en el piso la posición de la referida traza A_1 . Al efectuar estas operaciones debe evitarse que el material de la parte no removida sufra reacomos.
- c4) A continuación se extrae del camellón el volumen V del material comprendido entre las secciones S_1 y S_2 , Figuras Núms. 14 b y 14 c, que son paralelas y como mínimo deben tener una separación aproximadamente igual a la altura del camellón, debiendo efectuarse cuidadosamente el nuevo corte para formar la sección S_2 con características sensiblemente iguales a las de la sección S_1 . Para el objeto, el material se principia a remover en la parte superior del camellón y se coloca a un lado de éste, sobre el área del piso, preparada de acuerdo con lo indicado en el subpárrafo c1) de este párrafo, debiendo quedar cubierto con lonas dicho material para evitar que pierda humedad. Estas operaciones se realizarán procurando evitar que el material de la parte no removida sufra reacomos.
- c5) Se marca la traza A_2 y se mide la distancia, d , entre las trazas A_1 y A_2 , registrando su valor en metros con aproxima

ción de un (1) centímetro.

- c6) Se pesa el material extraído y se anota su peso, w_m , con aproximación de un (1) kilogramo. Del material que se vaya pesando y según el tiempo que tarde esta operación, se toman dos (2) o más muestras, cuyo peso esté de acuerdo con su tamaño máximo, según se indica en la tabla del inciso (6.01.01.002-E.01); se les determina su contenido de agua a las citadas muestras, siguiendo el procedimiento descrito en la cláusula (6.01.01.002-E) y el promedio de los resultados obtenidos se anota como la humedad, w , del material, en por ciento.

d) En esta prueba se calcula lo siguiente:

- d1) El volumen V , entre las secciones S_1 y S_2 , que ocupaba en el camellón el material extraído, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$V = S \times d$$

En donde:

- V es el volumen comprendido entre las secciones S_1 y S_2 que ocupaba en el camellón el material extraído, en metros cúbicos.
- S es el área de la sección transversal del camellón, determinada como se indicó en el subpárrafo c2), párrafo c) de este inciso, en metros cuadrados.
- d es la longitud del camellón comprendida entre las secciones S_1 y S_2 , en metros.
- d2) El peso específico o volumétrico en el camellón, aplicando la siguiente fórmula:

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V}$$

En donde:

γ_m es el peso específico o volumétrico del material húmedo, en el camellón, en kilogramos por metro cúbico.

W_m es el peso del material húmedo extraído del camellón y comprendido entre las secciones S_1 y S_2 , en kilogramos.

V es el volumen que ocupaba el material en el camellón entre las secciones S_1 y S_2 , en metros cúbicos.

d3) El peso específico o volumétrico del material seco, en el camellón, aplicando la siguiente fórmula:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_m}{100 + w} \times 100$$

En donde:

γ_d es el peso específico del material seco en el camellón, en kilogramos por metro cúbico.

γ_m es el peso específico del material húmedo en el camellón, en kilogramos por metro cúbico.

w es el contenido de agua del material obtenido como se indica en el subpárrafo c6), párrafo c), de este inciso, en por ciento.

e) Se reportan como valores correspondientes al material en el camellón, el peso específico del material húmedo, γ_m , y el peso específico del material seco, γ_d , en kilogramos por metro cúbico, así como la humedad,

w, en por ciento.

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

f1) No alterar el acomodo del material en la parte del camellón delimitado para hacer la prueba, antes de efectuar la remoción indicada en el procedimiento descrito.

f2) Evitar en lo posible cambios significativos en el contenido de agua del material, durante la ejecución de la prueba.

009-L.08 La determinación del peso específico en el lugar se efectuará aplicando, según corresponda, el procedimiento de la trompa y arena, el del cono y arena, o bien, el método del agua, que se describen en los incisos (6.01.01.002-J.04), (6.01.01.002-J.05) y (6.01.01.002-J.06), respectivamente, debiendo tomarse en cuenta las limitaciones que en cada caso se fijan. Estos procedimientos también se aplican en el caso de mezclas de suelos y estabilizaciones. Cuando se trata de concreto asfáltico, las determinaciones correspondientes se efectúan de acuerdo con los procedimientos que se citan en el inciso (012-E.05) de este Libro 6.

009-M PRUEBAS DE COMPACTACION

009-M.01 Para efectuar las pruebas de compactación de materiales para revestimientos, sub-bases y bases de pavimento, deberá tomarse en cuenta lo indicado en el inciso (6.01.01.002-K.01) de este Libro 6.

009-M.02 La prueba de compactación dinámica AASHTO estándar se deberá efectuar de acuerdo con el procedimiento que se describe en el inciso (6.01.01.002-K.02), excepto que el muestreo y la preparación de la muestra se llevarán a cabo como se indica en las cláusulas (009-B) y (009-C), de este Capítulo.

009-M.03 La prueba de compactación dinámica Proctor SCT deberá efectuarse de acuerdo con el procedimiento

descrito en el inciso (6.01.01.002-K.03), excepto que el muestreo y la preparación de la muestra se llevarán a cabo de acuerdo con lo indicado en las cláusulas (009-B) y (009-C), de este Capítulo.

009-M.04 Las pruebas de compactación dinámica AASHTO modificada tres (3) capas y AASHTO modificada cinco (5) capas deberán efectuarse de acuerdo con lo indicado en los incisos (6.01.01.002-K.04) y (6.01.01.002-K.05), de este Libro 6, respectivamente, excepto que el muestreo y la preparación de la muestra se llevarán a cabo como se indica en las cláusulas (009-B) y (009-C), de este Capítulo.

009-M.05 La prueba de compactación por carga estática deberá efectuarse de acuerdo con el procedimiento descrito en el inciso (6.01.01.002-K.06), excepto que el muestreo y la preparación de la muestra se llevarán a cabo como se indica en las cláusulas (009-B) y (009-C), de este Capítulo.

009-M.06 Para efectuar las pruebas de compactación en materiales para revestimientos, sub-bases y bases, tratados con estabilizantes, se deberá tomar en cuenta lo siguiente:

- a) En el caso de suelos estabilizados con materiales no asfálticos como cal, cemento Portland y puzolanas, se utilizarán los procedimientos que en cada caso fije el proyecto, o bien se podrán aplicar los métodos que correspondan de los descritos en los incisos (6.01.01.002-K.02) a (6.01.01.002-K.06).
- b) Cuando se trata de suelos estabilizados con asfaltos, las pruebas de compactación en general se llevarán a cabo de acuerdo con el método aplicado para el diseño de la estabilización, o bien el que en cada caso indique el proyecto correspondiente.

009-N DETERMINACION DEL GRADO DE COMPACTACION

009-N.01 La determinación del grado de compactación de materiales para revestimientos, sub-bases y bases de pavimento se efectuará de acuerdo con lo indicado en la cláusula (6.01.01.002-L), de este Libro 6, excepto que los pesos específicos máximos, γ_{dmax} , deberán obtenerse con el procedimiento que corresponda de los indicados en la cláusula (009-M), de este Capítulo. En el caso de estabilizaciones, el grado de compactación también se podrá determinar de acuerdo con lo indicado en la cláusula (6.01.01.002-L), excepto que el peso específico seco máximo y las condiciones en que el grado de compactación se determine serán establecidos por el proyecto. Tratándose de mezclas asfálticas se determinará el grado de compactación como se indica en la cláusula (012-G), de este Libro 6.

009-O DETERMINACION DE LOS COEFICIENTES DE VARIACION VOLUMETRICA

009-O.01 La determinación de los coeficientes de variación volumétrica de los materiales a que se refiere este Capítulo se efectuará de acuerdo con lo descrito en la cláusula (6.01.01.002-M), de este Libro 6, excepto que para la determinación de los pesos específicos se tomará en cuenta lo indicado en la cláusula (009-L), de este Capítulo.

009-P DETERMINACION DE LOS INDICES DE RESISTENCIA

009-P.01 Para determinar los índices de la resistencia de los materiales para revestimientos, sub-bases y bases de pavimento, se aplicarán los procedimientos descritos en la cláusula (6.01.01.002-N), de este Libro 6, cuyos resultados se utilizan también en el diseño de los espesores de pavimentos y en el control de la calidad durante la construcción. En el caso de materiales tratados con cemento Portland, cal hidratada o puzolanas, siendo estabilizaciones de tipo flexible, la determinación de la resistencia se llevará a cabo de acuerdo

con lo indicado en la cláusula (009-V), de este Capítulo.

009-Q PRUEBAS DE AFINIDAD DEL MATERIAL
PETREO CON EL ASFALTO

009-Q.01 Estas pruebas se efectúan a los materiales pétreos para sub-bases y bases de pavimento, con objeto de conocer si presentan características de afinidad con el asfalto juzgadas a través de los procedimientos descritos en la cláusula (010-L), de este Libro 6.

009-R DETERMINACION DEL CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO EN MEZCLAS ESTABILIZADAS CON ASFALTO

009-R.01 La determinación del contenido de cemento asfáltico en los materiales a que se refiere este Capítulo, deberá llevarse a cabo de acuerdo con lo indicado en la cláusula (012-I), de este Libro 6.

009-S DETERMINACION DEL CONTENIDO DE AGUA Y
DISOLVENTES EN MEZCLAS ESTABILIZADAS
CON PRODUCTOS ASFALTICOS

009-S.01 La determinación del contenido de agua y disolventes en los materiales a los que se refiere este Capítulo, que han sido estabilizados mezclándoseles al gún producto asfáltico, deberá efectuarse de acuerdo con lo que se describe en la cláusula (012-J), de este Libro 6.

009-T DETERMINACION DE LOS VALORES DE ESTABILIDAD,
EXPANSION Y ABSORCION EN MATERIALES ESTABILIZADOS CON PRODUCTOS ASFALTICOS BASADO EN EL METODO HUBBARD FIELD (PRUEBA MODIFICADA).

009-T.01 Este método tiene por objeto diseñar y verificar estabilizaciones con productos asfálticos, de suelos que pasen más del setenta por ciento (70%) por la malla Núm. 4.75, a fin de que cumplan con los requisitos de valor de estabilidad, expansión y absorción, que se indican en el Capítulo (009) del Libro 4 y puedan ser utilizados en la construcción de sub-bases y bases

de pavimento. El método consiste en elaborar especímenes de dimensiones especificadas, empleando mezclas de material pétreo seco, o bajo ciertas condiciones de humedad con diferentes contenidos de asfalto rebajado o emulsión asfáltica; los especímenes se prueban después de permanecer cierto tiempo en un cuarto húmedo sumergidos parcialmente en agua, para determinar sus características de absorción, expansión y valor de estabilidad o resistencia a la falla por extrusión.

009-T.02 El equipo necesario para efectuar la prueba es el siguiente:

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

Tres moldes cilíndricos de acero endurecido para elaborar los especímenes de prueba, con superficies interiores y exteriores de acabado liso y uniforme, con la forma y dimensiones que se indican en la Figura Núm. 16 a.

Pistón base de acero endurecido, de forma cilíndrica con las dimensiones y características que se muestran en la Figura Núm. 16 b.

Pistón para compactación, de acero endurecido, de forma cilíndrica como se indica en la Figura Núm. 16 c.

Pisón para compactación, de acero endurecido y con peso aproximado de mil doscientos (1200) gramos, con las dimensiones y características indicadas en la Figura Núm. 16 d.

Molde de prueba, de acero endurecido, con

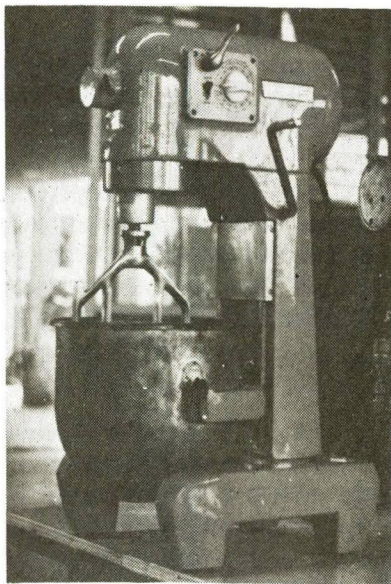
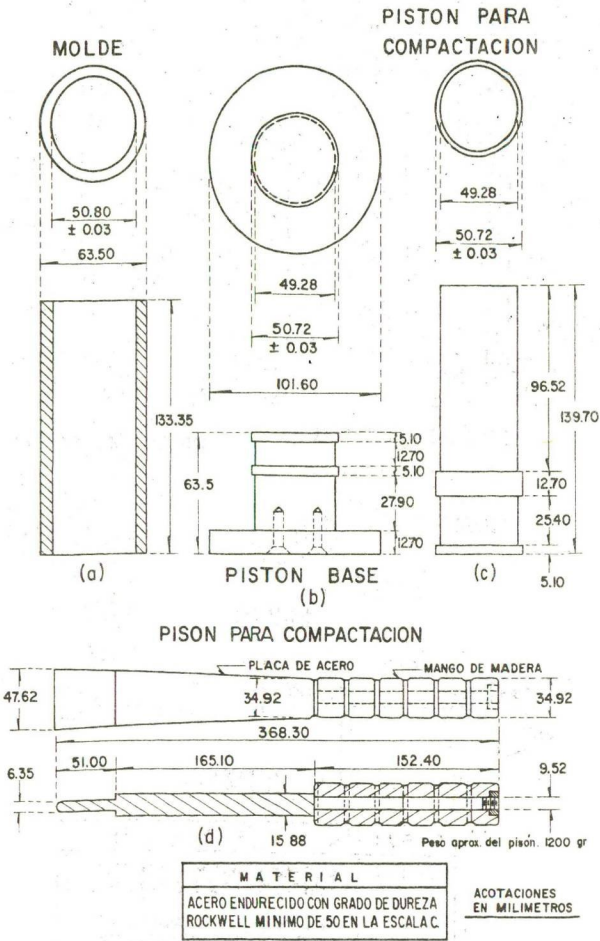


Figura Núm. 15. Mezcladora mecánica para agregados pétreos con asfalto.

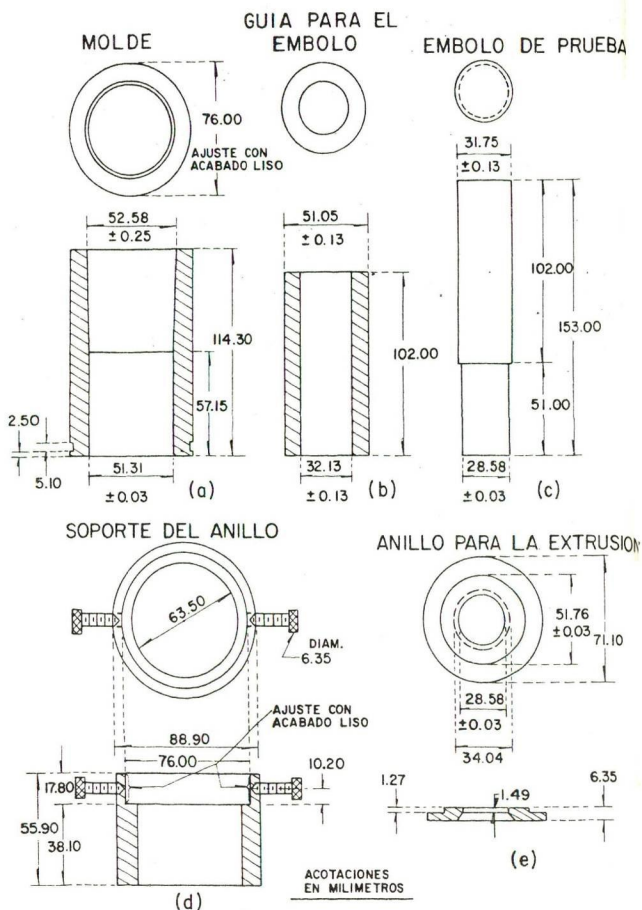
superficie interior compuesta de una sección cónica y otra cilíndrica de alturas iguales y diámetro exterior ajustado para que entre en el soporte del anillo para la extrusión, como se muestra en la Figura Núm. 17 a.

Guía para el émbolo de prueba, de acero en durecido y forma cilíndrica, con superficies interior y exterior pulidas y las diensiones que se indican en la Figura Núm. 17 b.

Embolo de prueba, de acero endurecido y acabado liso, con las dimensiones que se indican en la Figura Núm. 17 c.



**FIGURA NUM. 16 EQUIPO DE COMPACTACION PARA
LOS ESPECIMENES DE LA
PRUEBA DE EXTRUSION.**



PIEZA	M A T E R I A L
a, b, c y d	ACERO ENDURECIDO CON GRADO DE DUREZA ROCKWELL MINIMO DE 50 EN LA ESCALAC.
e	ACERO ENDURECIDO CON GRADO DE DUREZA ROCKWELL MINIMO DE 58 EN LA ESCALAC.

FIGURA NUM. 17 EQUIPO DE EXTRUSION

Soporte de acero endurecido tipo Hubbard Field, o equivalente, para el anillo de extrusión, Figura Núm. 17 d.

Anillo de acero endurecido para la extrusión, de las características que se indican en la Figura Núm. 17 e.

Calzas de acero estructural para apoyar el molde de compactación durante la elaboración de los especímenes.

Máquina de compresión con capacidad mínima de cinco mil (5000) kilogramos, que pueda desplazar su cabezal al aplicar la carga, con velocidad constante de veinticinco (25) milímetros por minuto aproximadamente; deberá tener un indicador de la carga aplicada y un dispositivo que registre la carga máxima con aproximación de diez (10) kilogramos.

Horno con termostato que mantenga una temperatura de sesenta a ciento cinco grados centígrados (60 a 105°C), con aproximación de tres grados centígrados (3°C).

Calibrador de vernier con aproximación de cero punto un (0.1) milímetro.

Balanza con capacidad mínima de dos (2) kilogramos y aproximación de cero punto cinco (0.5) gramos.

Balanza con capacidad mínima de quinientos (500) gramos y aproximación de cero punto cero cinco (0.05) gramos.

Gabinete o cuarto húmedo con dispositivos para regular la temperatura entre ocho y veintisiete grados centígrados (8 - 27°C) y humedad relativa mínima de noventa por ciento (90%).

Malla Núm. 4.75.

Malla Núm. 2.0.

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

Charolas de metal de cincuenta (50) milímetros de profundidad como mínimo.

Cuchara de albañil.

Paleta de hule duro.

009-T.03 La preparación de la muestra se efectuará en la forma siguiente:

- a) De una muestra preparada como se indica en la cláusula (009-C) de este Capítulo, se obtienen aproximadamente siete (7) kilogramos de material.
- b) Se criba el material seco a través de la malla Núm. 4.75 y se desecha el retenido; - se determina y anota el porcentaje, en peso, de la fracción que pasa dicha malla.
- c) Se criba el material que pasó la malla Núm. 4.75, a través de la malla Núm. 2.0 y si existen grumos retenidos, se disgregan en tal forma que se separen sin romper las partículas y se criban nuevamente por la malla Núm. 2.0.
- d) A continuación se mezcla la fracción retenida en la malla Núm. 2.0, con la fracción que pasó dicha malla.

009-T.04 El procedimiento de elaboración de los especímenes consistirá en lo siguiente:

- a) Cuando se utilicen asfaltos rebajados, se elaborarán los especímenes de prueba como a continuación se indica:
 - al) Se toman novecientos (900) gramos approxi

madamente, de material pétreo preparado como se indica en el inciso (009-T.03) y cuya humedad no exceda a la de absorción; se colocan en una charola, agregándoles la cantidad requerida de asfalto que corresponda, de acuerdo con lo que se indica en el subpárrafo a8) de este párrafo, a la temperatura de aplicación señalada en el inciso (3.01.03.076-F.08) del Libro 3. Utilizando la cuchara de albañil se mezclan hasta lograr una distribución uniforme del asfalto y terminada la operación anterior se vierte la mezcla en un recipiente, se tapa éste herméticamente y se deja reposar durante cuatro (4) horas.

a2) A continuación se toman doscientos (200) gramos de mezcla aproximadamente, para formar un espécimen de prueba; esta cantidad se ajustará para obtener un espécimen con altura de cincuenta y uno más menos un (51 ± 1) milímetro.

a3) Se coloca el pistón base en posición vertical y se inserta uno de los moldes de tal manera que el pistón penetre aproximadamente veinticinco (25) milímetros, manteniendo el molde en esta posición por medio de las calzas, las que se sujetarán convenientemente para que no se muevan durante la compactación; a continuación se vierte la cantidad de mezcla necesaria para la elaboración del espécimen, la que tendrá una temperatura de cincuenta grados centígrados (50°C).

a4) Se aplica una compactación inicial a la mezcla dentro del molde, dándole veinticinco (25) golpes de pisón, con caída libre de ciento cincuenta (150) milímetros

aproximadamente, contados desde la parte inferior del espécimen en formación; los golpes deben distribuirse girando el pi són, el cual podrá guiarse superponiendo otro molde.

- a5) A continuación se introduce el pistón para compactación, se retiran las calzas del molde y se coloca el conjunto en la máquina de compresión, Figura Núm. 18. Se dará la compactación final al espécimen aplicándole carga con velocidad del cabezal de veinticinco (25) milímetros por minuto, hasta alcanzar una carga total de dos mil setecientos veinte (2720) kilogramos, sosteniendo dicha carga durante dos (2) minutos. En seguida se descarga lentamente, se extrae el espécimen del molde y se marca su cara superior tomando en cuenta la posición en que fue compactado.
- a6) Se determinan al espécimen compactado su peso W_m , con aproximación al décimo de gramo, su diámetro d y altura h promedios, con aproximación al décimo de milímetro. Si la altura promedio no cumple con lo especificado en el subpárrafo a2) de este párrafo, se desechará el espécimen y se ajustará el peso de las muestras restantes para que la altura de los especímenes sea la adecuada.
- a7) Se repiten los pasos descritos en los subpárrafos a2) a a6) de este párrafo, para obtener un grupo de tres (3) especímenes, utilizando el resto de la mezcla preparada para el contenido de asfalto seleccio nado.
- a8) Se elaboran cuatro (4) grupos más, de

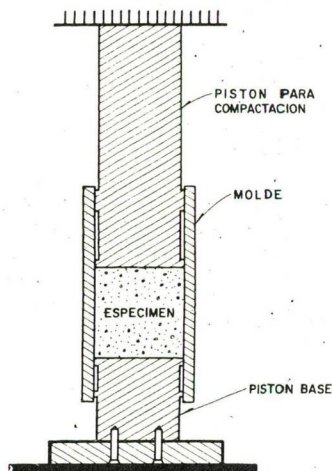


FIGURA NUM. 18 COMPACTACION DEL ESPECIMEN DE PRUEBA

tres (3) especímenes cada uno, siguiendo los pasos descritos en los subpárrafos a1) a a7) de este párrafo, haciendo variar en cada uno de ellos el contenido de asfalto en cero punto cinco por ciento (0.5%) con respecto al peso seco del material pétreo, tratando de que los contenidos de asfalto incluyan a aquél con el cual la mezcla cumpla con los requisitos de estabilidad y absorción establecidos en el Libro 4 de estas Normas.

a9) Se curan los especímenes de prueba como se indica a continuación:

a9.a) Se colocan los especímenes en el horno a sesenta más menos tres grados centígr

dos ($60 \pm 3^{\circ}\text{C}$) durante un período de cuarenta y dos (42) horas; transcurrido este lapso se sacan del horno y se colocan en un desecador durante treinta (30) minutos para que se enfríen a la temperatura ambiente, y a continuación se elige de cada grupo de tres (3) especímenes, uno (1) como referencia y se les determina y registra su peso con aproximación de cero punto un (0.1) gramo.

a9.b) Se regresan al horno todos los especímenes y después de un período de seis (6) horas se sacan y se colocan en el desecador durante treinta (30) minutos; después de este lapso se pesan con aproximación de cero punto un (0.1) gramo, los especímenes que sirven como referencia. Se repite lo descrito en este sub-subpárrafo las veces que sea necesario hasta que en dos (2) pesadas sucesivas de cada espécimen de referencia, no registren variaciones mayores de cero punto tres (0.3) gramos.

a9.c) Después de que los especímenes usados como referencia cumplan con el requisito de peso, se sacan del desecador los restantes y se registran para todos y cada uno sus diámetros d_1 y altura h_1 , promedios, con aproximación de cero punto un (0.1) milímetro, y sus pesos w_{d1} , con aproximación de cero punto un (0.1) gramo.

b) Cuando se utilice emulsión asfáltica se elaborarán los especímenes de prueba como a continuación se indica:

b1) Se colocan en el tazón de mezclado nove

cientos (900) gramos aproximadamente de material pétreo seco y poniendo a funcionar la mezcladora a baja velocidad se le agrega la cantidad de agua que corresponde a la óptima del material sin estabilizar, determinada mediante la prueba AASHTO estándar descrita en el inciso (6.01.01.002-K.02), de este Libro 6, tomando en cuenta la humedad inicial del material. El mezclado se hará durante un período de cinco (5) minutos, interrumpiéndolo cuando sea necesario limpiar las paredes del tazón y el agitador; el tiempo empleado en efectuar esta limpieza no se considerará como tiempo de mezclado.

- b2) A continuación se agrega la cantidad prevista de emulsión que corresponda, de acuerdo con lo que se indica en el subpárrafo a8) párrafo a) de este inciso y se mezcla durante un período de cinco a diez (5 a 10) minutos, para obtener una mezcla homogénea.
- b3) Terminada la operación anterior se vierte la mezcla en una charola en donde por evaporación se alcance la consistencia adecuada para su compactación; en general se considera que la mezcla tiene dicha consistencia cuando la suma de los porcentajes de emulsión y de agua, es igual a la humedad óptima de compactación del suelo. Durante este período de secado se evitará la formación de grumos en la mezcla proporcionándole movimientos ligeros con la cuchara de albañil. Durante el secado se agita de vez en cuando el material y si se forman grumos duros del orden de dos (2) centímetros, se cortan con una espátula.

la para disgregarlos. Cuando la mezcla alcance una humedad ligeramente superior a la necesaria para su adecuada compactación, se coloca en el tazón y se le sujeta a un mezclado más intenso, operando la máquina a mayor velocidad, hasta obtener una masa uniforme. A continuación se vierte la mezcla en una charola para que con un ligero mezclado con la cuchara de albañil siga perdiendo humedad, hasta alcanzar la consistencia adecuada para su compactación, lo cual se verificará controlando la pérdida de agua mediante pesadas sucesivas.

- b4) Se elaboran cinco (5) grupos de especímenes de prueba de acuerdo con lo descrito en los subpárrafos a2) al a7), párrafo a) de este inciso, excepto que no se calienta la mezcla para fabricar los especímenes, variando en cada uno de dichos grupos el contenido de asfalto en cero punto cinco por ciento (0.5%) con relación al peso seco de material pétreo, tratando de que los contenidos de asfalto incluyan a aquél con el cual la mezcla cumpla con los requisitos de estabilidad y absorción establecidos en el Libro 4 de estas Normas. Estos porcentajes varían en general de dos (2) a siete (7) en peso, con respecto al material pétreo.
- b5) El curado de los especímenes de prueba se efectúa en forma semejante a la indicada en el subpárrafo a9), párrafo a) de este inciso.

009-T.05 El procedimiento de prueba de los especímenes consistirá en lo siguiente:

a) Para determinar la absorción y expansión se procede como sigue:

a1) Se adaptan las condiciones del cuarto húmedo para que mantenga una temperatura de veintidós más menos cinco grados centígrados ($22 \pm 5^{\circ}\text{C}$) y una humedad relativa mínima de noventa por ciento (90%).

a2) Se colocan los especímenes de prueba en una charola teniendo cuidado de que las caras marcadas como superiores queden hacia arriba, y se vierte agua en la charola hasta que su nivel alcance veinticinco (25) milímetros de altura.

a3) Se coloca la charola con los especímenes en el cuarto húmedo y se dejan en reposo durante siete (7) días; transcurrido este lapso se saca del cuarto húmedo la charola con los especímenes y se procede a secarlos superficialmente con un paño absorbente; a continuación se les determina a cada uno su peso, W_2 , con aproximación de cero punto un (0.1) gramo y su diámetro inferior promedio, d_2 , con aproximación de cero punto un (0.1) milímetro.

b) Para determinar el valor de estabilidad por extrusión se procede como se indica a continuación:

b1) Se montan el anillo para extrusión y el molde de prueba sobre el soporte metálico, Figura Núm. 19. A continuación se introduce uno de los especímenes en el molde de prueba cuidando que la cara inferior, que estuvo sumergida durante la determinación de la absorción, quede en contacto con el anillo para extrusión; cuando sea necesario se utilizará el émbolo de prueba en

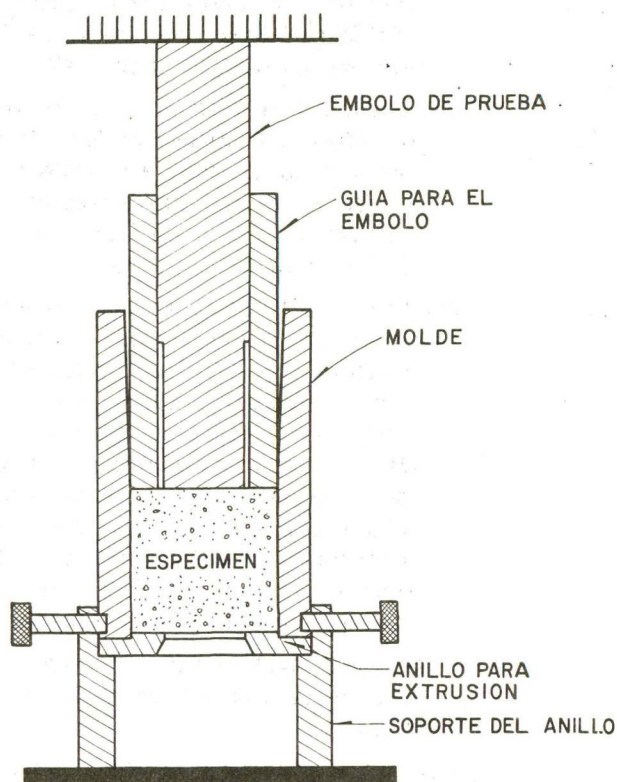


FIGURA NUM. 19 MONTAJE DEL EQUIPO PARA LA PRUEBA DE EXTRUSION

esta operación. Finalmente se colocan dentro del molde la guía y el émbolo de prueba, asegurándose de que ambos hagan contacto con la cara superior del espécimen.

- b2) Se instala el equipo de prueba que contiene el espécimen, en la platina de la máquina de compresión, se centra el émbolo de prueba con respecto al cabezal y se aplica la carga con velocidad constante de veinticinco (25) milímetros por minuto, hasta que se produzca la falla del espécimen. Se anota como valor de estabilidad por extrusión la carga máxima, C , con aproximación de diez (10) kilogramos, obtenida en cada uno de los especímenes.

009-T.06 En esta prueba se calcula y reporta lo siguiente:

- a) Se calcula el volumen de cada espécimen seco después de curado, mediante la fórmula siguiente:

$$V = \frac{\pi}{4} d_1^2 h_1$$

En donde:

- V es el volumen del espécimen seco después de curado, en centímetros cúbicos.
- d_1 es el diámetro promedio del espécimen, en centímetros.
- h_1 es la altura promedio del espécimen, en centímetros.
- b) Se calcula el peso específico de cada espécimen seco después de curado, con la fórmula siguiente:

$$\gamma_d = \frac{w_{d1}}{V} \times 1000$$

En donde:

γ_d es el peso específico del espécimen seco después de curado, en kilogramos por metro cúbico.

W_{d1} es el peso del espécimen seco, en gramos.

V es el volumen del espécimen, en centímetros cúbicos.

c) Se calcula la absorción de cada espécimen con la fórmula siguiente:

$$W_{ab} = \frac{W_2 - W_{d1}}{W_{d1}} \times 100$$

En donde:

W_{ab} es la absorción del espécimen, en por ciento.

W_{d1} es el peso del espécimen al iniciar el período de absorción, en gramos.

W_2 es el peso del espécimen al terminar el período de absorción, en gramos.

d) Se calcula la expansión de cada espécimen mediante la fórmula siguiente:

$$E = \frac{d_2^3 - d_1^3}{d_1^3} \times 100$$

En donde:

E es la expansión del espécimen, en por ciento.

d_1 es el diámetro promedio de la base inferior del espécimen antes de la saturación, en centímetros.

d_2 es el diámetro promedio de la base inferior del espécimen después de la sa

turación, en centímetros.

- e) Se promedian para cada grupo de especímenes correspondientes a cada uno de los contenidos de producto asfáltico, los valores de peso específico en estado seco, absorción, expansión y valor de estabilidad por extrusión; a continuación se forman gráficas colocando sucesivamente en el eje de las ordenadas los valores promedio del peso específico en estado seco, absorción, expansión y estabilidad por extrusión, y en el eje de las abscisas los contenidos de residuo asfáltico en por ciento respecto al peso del material pétreo seco. Mediante estas gráficas se selecciona el contenido de asfalto con el cual la mezcla satisface los requisitos establecidos en el Capítulo (009) del Libro 4 de estas Normas; o lo que fije el proyecto.
- f) Se reportan el contenido de asfalto seleccionado y los correspondientes valores del peso específico en estado seco, absorción, expansión y estabilidad.

009-T.07 Al efectuar esta prueba se tendrán las precauciones siguientes:

- a) Manejar los especímenes con el cuidado necesario a fin de evitar que se deformen o deterioren.
- b) Una vez ocurrida la falla, no seguir aplicando carga al espécimen para evitar que el anillo de extrusión sufra deformaciones permanentes.

009-U DETERMINACION DEL VALOR SOPORTE FLORIDA
MODIFICADO EN MATERIALES ARENOSOS ESTABILIZADOS CON ASFALTO

009-U.01 Esta prueba tiene por objeto diseñar y verificar la estabilización de materiales arenosos con emulsiones asfálticas, a fin de que cumplan con el requisito de valor soporte Florida modificado que se indica en el Capítulo (009) del Libro 4 de estas Normas. El procedimiento consiste en elaborar especímenes de dimensiones especificadas, empleando mezclas de material pétreo bajo ciertas condiciones de humedad y diferentes contenidos de emulsión asfáltica, las cuales se compactarán mediante carga estática; estos especímenes después de haber sido curados, se someten a una prueba de penetración para obtener su valor soporte Florida modificado. El procedimiento se aplica únicamente a materiales con equivalente de arena mayor de 40, cuyas partículas predominantemente pasen la malla Núm. 4.75 y no más del veinticinco por ciento (25%) pase la malla Núm. 0.075.

009-U.02 El equipo necesario para efectuar la prueba es el siguiente:

Mezcladora mecánica para agregados pétreos con tazón de mezclado de cinco (5) litros de capacidad y velocidades de mezclado de sesenta (60) y ciento veinte (120) revoluciones por minuto, Figura Núm. 15.

Nueve moldes de metal de ciento uno punto seis (101.6) milímetros de diámetro interior y ciento uno punto seis (101.6) milímetros de altura, con placas de base cuadrada de ciento cincuenta y dos punto cuatro (152.4) milímetros de lado y nueve punto cinco (9.5) milímetros de espesor, Figura Núm. 20 a, en la que se muestra un corte del molde según la diagonal de la placa de base.

Pistón metálico de compactación, de cien punto tres (100.3) milímetros de diámetro, Figura Núm. 20 b.

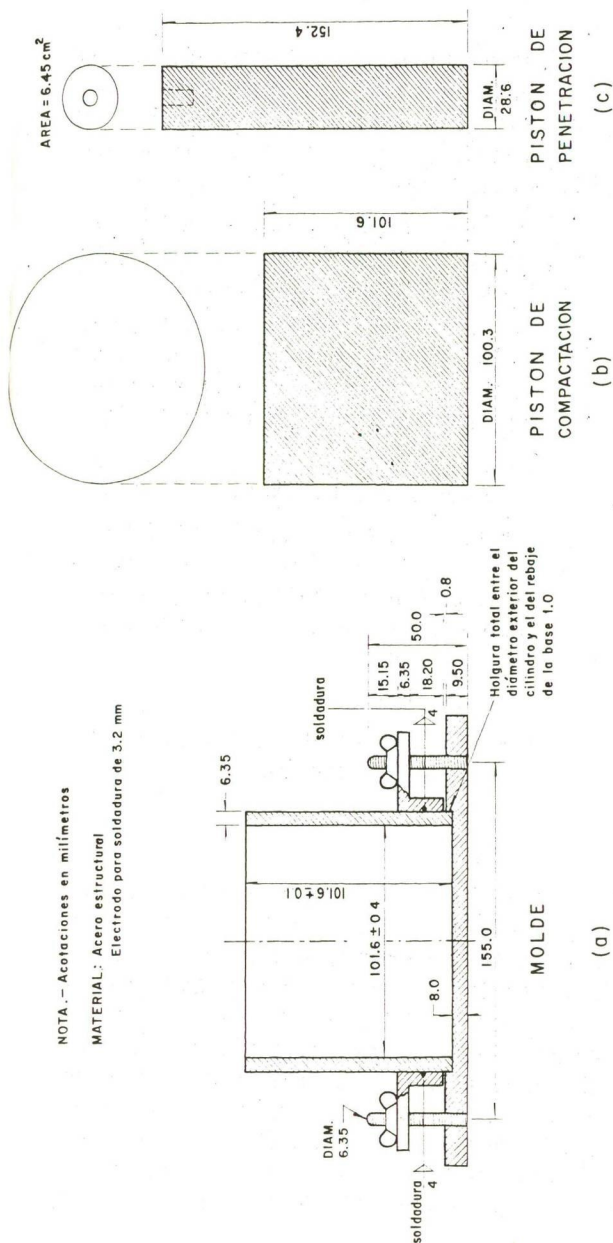


FIGURA NUM. 20 MOLDE Y ACCESORIOS PARA LA PRUEBA DE VALOR SOPORTE FLORIDA MODIFICADO.

Pistón de penetración con sección transversal de seis punto cuarenta y cinco (6.45) centímetros cuadrados y altura de ciento cincuenta y dos punto cuatro (152.4) milímetros, Figura Núm. 20 c.

Varilla de acero de dos punto cinco (2.5) centímetros de diámetro y veinte (20) centímetros de longitud, con punta de bala.

Horno con termostato que mantenga temperaturas de sesenta a ciento cinco grados centígrados (60 a 105°C), con aproximación de más menos tres grados centígrados ($\pm 3^{\circ}\text{C}$).

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

Máquina de compresión con capacidad mínima de quince (15) toneladas, que pueda desplazar su cabezal con velocidad de cero punto cinco a uno punto cero (0.5 a 1.0) milímetros por minuto.

Malla Núm. 4.75.

Probetas graduadas de cien (100) centímetros cúbicos de capacidad.

Cucharones.

Espátulas.

009-U.03 De una muestra de material obtenida y preparada como se indica en las cláusulas (009-B) y (009-C) de este Capítulo, respectivamente, se toma por cuarteo una porción de material de treinta (30) kilogramos aproximadamente y se verifica que su equivalente de arena sea mayor de cuarenta por ciento (40%) para poder continuar la prueba, la cual se prosigue determinando los porcentajes de material que pasan por las mallas Núms. 4.75, 2.0 y 0.075, como se indica en el inciso (6.01.01.002-H.03) y el peso específico de material seco y suelto, siguiendo el procedimiento indicado en el inciso (6.01.01.

002-J.03).

009-U.04 La prueba se efectuará en la forma siguiente:

- a) De una muestra preparada como se indica en el inciso (009-U.03), se toman por cuarteo tres (3) porciones de material pétreo, cada una de ellas suficiente para producir aproximadamente seis (6) kilogramos de material que pase la malla Núm. 4.75.
- b) Se determina con ayuda de la Tabla II; la cantidad aproximada de emulsión asfáltica requerida para la prueba, de acuerdo con la granulometría del material pétreo; dicha tabla se formuló considerando una emulsión - con cincuenta y siete por ciento (57%) de residuo asfáltico.
- c) Se coloca sobre el tazón de la mezcladora la malla Núm. 4.75 y se criba a través de ésta una de las muestras indicadas en el párrafo a) de este inciso. A continuación se agrega al material retenido un volumen de agua igual a la mitad del de la emulsión requerida para la muestra mencionada, de tal manera que el agua escurra y caiga al material que pasó la malla Núm. 4.75, contenido en el tazón; durante esta operación se moverá el material retenido en la malla para facilitar su humedecimiento.
- d) Una vez que ha escurrido el agua como se indicó en el párrafo anterior, se retira la malla con el retenido y usando la mezcladora se agita el material contenido en el tazón hasta que adquiera un color más intenso y uniforme, lo cual indicará que se tiene la cantidad adecuada de agua; si el material no adquiere las condiciones citadas, se coloca nuevamente la malla con el reteni

TABLA II. CANTIDAD APROXIMADA DE EMULSION ASFALTICA
EN LITROS POR METRO CUBICO DE MATERIAL PE
TREGO SECO Y SUELTO POR ESTABILIZAR

Por ciento en peso que pasa la ma lla Núm. 0.075.	Por ciento en peso que pasa la malla Núm. 2.0							
	30	40	50	60	70	80	90	100
0	93.6	98.9	102.9	108.3	113.6	117.6	123.0	127.0
2	93.6	98.9	105.6	109.6	115.0	119.0	124.3	128.3
4	94.9	100.3	106.9	110.9	116.3	123.0	127.0	132.3
6	94.9	101.6	106.9	110.9	117.6	123.0	128.3	133.7
8	97.6	101.6	108.3	113.6	119.0	124.3	131.0	135.0
10	97.6	101.6	108.3	113.6	119.0	124.3	131.0	135.0
12	94.9	101.6	106.9	110.9	117.6	123.0	128.3	133.7
14	93.6	98.9	105.6	109.6	115.0	119.0	124.3	128.3
16	92.2	97.6	101.6	106.9	110.9	116.3	119.0	124.3
18	90.9	94.9	98.9	101.6	106.9	109.6	115.0	117.6
20	86.9	90.9	93.6	97.6	100.3	102.9	104.3	108.3
22	85.6	86.9	89.6	92.2	93.6	94.9	98.9	100.3
24	84.2	85.6	88.2	90.9	92.2	93.6	94.9	97.6
25	84.2	85.6	86.9	89.6	90.9	92.2	93.6	94.9

NOTA: En esta tabla se consideró que la emulsión tiene un residuo asfáltico de cincuenta y siete por ciento (57%); para emulsiones que contengan un porcentaje de residuo asfáltico diferente, se deberán ajustar las cantidades correspondientes multiplicándolas por la relación:

$$\frac{57}{R}$$

En donde R es el residuo de la emulsión considerada, en por ciento.

- do y se agrega más agua en la forma descrita en el párrafo c) de este inciso, en incrementos de cien (100) centímetros cúbicos, hasta que se adquiera dicha intensidad de color.
- e) Se coloca sobre el tazón de la mezcladora la malla Núm. 4.75 con el material retenido, y se agrega sobre éste la cantidad de emulsión previamente determinada, distribuyéndola uniformemente y de manera que la emulsión escurra sobre el material del tazón; simultáneamente se mezcla el material retenido en la malla y al terminar de escurrir la emulsión se retira dicha malla y se desecha el retenido.
- f) Se coloca el tazón con su contenido en la mezcladora y se pone a funcionar ésta a mayor velocidad hasta tener una mezcla de color uniforme, sin excederse en el mezclado. Después de haber obtenido esta condición y si en el paso indicado en el párrafo d) de este inciso se agregó agua, ésta se eliminará en igual cantidad oreando la mezcla y verificando la operación mediante pesado.
- g) Se determina el contenido de agua en la mezcla siguiendo el procedimiento indicado en el inciso (012-J.02) de este Libro 6, registrando su valor en por ciento. Esta operación no deberá interferir con la continuación de la prueba.
- h) Utilizando tres (3) moldes de ciento uno punto seis (101.6) milímetros de diámetro, a los que previamente se les determina su peso en gramos, se elaboran tres (3) especímenes de prueba colocando en cada molde mil doscientos (1200) gramos de la mezcla prepa

rada, la cual se acomodará aplicándole cincuenta (50) golpes con la varilla de acero.

- i) Se instala en uno de los moldes que contienen la mezcla, el pistón de compactación de cien punto tres (100.3) milímetros de diámetro y se coloca el conjunto en la máquina de compresión, centrándolo debidamente; se aplica en forma gradual una carga de once mil trescientos cuarenta (11340) kilogramos equivalente a una presión de ciento cuarenta (140) kilogramos por centímetro cuadrado y se mantiene por dos (2) minutos. A continuación se descarga lentamente y se saca del molde el cilindro de compactación. Se repiten estas operaciones en los dos (2) especímenes restantes mencionados en el párrafo h) de este inciso.
- j) Se pesa cada uno de los especímenes con su respectivo molde y por diferencia se calcula el peso de cada espécimen, anotando los valores en kilogramos, con aproximación de un (1) gramo.
- k) A continuación se curan los especímenes en el horno a sesenta grados centígrados (60° C) durante el tiempo necesario para que su contenido de agua sea de cuatro a cinco por ciento (4 a 5%), calculado por diferencia de pesos. El pistón de penetración se colocará dentro del horno al mismo tiempo que los especímenes.
- l) Al terminar el curado se sacan del horno el pistón de penetración y los moldes con sus respectivos especímenes. Se coloca y centra uno de los especímenes con su molde en la máquina de compresión a la cual se le habrá instalado el pistón de penetración y se

aplica carga para lograr una velocidad de penetración del mismo, de cero punto cinco a uno punto cero (0.5 a 1.0) milímetros por minuto, hasta que se presente la falla o bien, hasta que el pistón haya penetrado seis punto treinta y cinco (6.35) milímetros en el espécimen. Se efectúa el proceso de penetración en los dos (2) especímenes restantes y se registra la carga máxima obtenida para cada uno de ellos, en kilogramos, que es el valor soporte Florida modificado.

- m) Se repiten los pasos descritos en los párrafos c) a l) de este inciso en las dos (2) porciones de material pétreo restantes de las preparadas como se indicó en el párrafo a) de este mismo inciso, agregando a la segunda y tercera porción cantidades de emulsión, con variaciones de uno punto cero por ciento (1.0%) en peso a partir de la cantidad de producto asfáltico agregado a la primera porción, para tratar de obtener el valor de estabilidad especificado en el Capítulo (009) del Libro 4.

009-U.05 Los cálculos y reportes de esta prueba son los siguientes:

- a) Se calcula el promedio de los valores soporte Florida modificados, de cada uno de los grupos de tres (3) especímenes elaborados para cada contenido de emulsión y se grafican en un sistema de ejes coordenados, tomando como abscisas los porcentajes de emulsión asfáltica y como ordenadas los valores soporte promedio antes mencionados.
- b) Se reporta el contenido mínimo de emulsión asfáltica con el que la mezcla satisface el

valor soporte Florida modificado establecido en estas Normas o el que fije el proyecto, anexando la gráfica que se indica en el párrafo a) de este inciso.

009-V PRUEBAS EN MATERIALES ESTABILIZADOS CON CEMENTO PORTLAND, CAL HIDRATADA O PUZOLANAS. ESTABILIZACION DE TIPO FLEXIBLE (SUELO MODIFICADO)

009-V.01 Las pruebas que se indican en esta Cláusula se utilizan para el diseño y verificación de estabilizaciones de tipo flexible, elaboradas con bajos contenidos de cemento Portland, cal hidratada o puzolanas y materiales para revestimiento, sub-base o base de pavimento, que presentan bajo valor soporte o plasticidad excesiva. Para el diseño de las estabilizaciones se elaboran mezclas de los materiales pétreos con cemento Portland, cal hidratada o puzolanas según se requiera, a las cuales, después de ser curadas convenientemente, se les verifica su calidad con las pruebas que se aplican a los materiales no estabilizados de revestimiento, sub-base o base de pavimento.

009-V.02 El equipo necesario es el que se indica en cada una de las pruebas a que se refiere el párrafo (009-V.04.a) de esta Cláusula.

009-V.03 La obtención y preparación de las muestras de materiales pétreos sin estabilizar o de los ya estabilizados, deben efectuarse de acuerdo con lo que se indica en las cláusulas (009-B) y (009-C) de este Capítulo, haciéndose notar que para el caso de diseño de estabilizaciones el peso de la muestra no será menor de cien (100) kilogramos.

009-V.04 El procedimiento de prueba comprende los dos casos siguientes:

a) Para el diseño de estabilización:

al) Se criba el material por estabilizar a

través de las mallas Núms. 4.75 y 0.425, para separarlo en tres (3) fracciones: la retenida en la malla Núm. 4.75, la que pasa ésta y se retiene en la malla Núm. 0.425 y la que pasa la malla últimamente citada; se determinan los porcentajes en peso de estas fracciones con relación al de la muestra original y se forma el número de muestras de prueba necesario con un peso de doce (12) a quince (15) kilogramos cada una, integrándolas con el peso correspondiente de las respectivas fracciones de material, para reproducir la granulometría de la muestra original.

a2) Se mezcla cada una de las muestras así preparadas, con el material estabilizante, en una proporción que generalmente puede variar de uno a cuatro por ciento (1 a 4%), con respecto al peso del suelo seco; en cada mezcla se incrementará dicho material estabilizante en cero punto cinco o uno punto cero por ciento (0.5 ó 1.0%), según se estime necesario, y se deja una muestra testigo sin material estabilizante.

a3) Se agrega agua a cada una de las muestras hasta tener una humedad aproximadamente igual a la óptima de compactación del material por estabilizar y se mezclan para homogeneizarlas. Se revuelve la mezcla o suelo modificado, una (1) vez al día durante el período de curado, a fin de evitar la formación de grumos difíciles de disgregar; durante este período se procurará que la humedad de las mezclas permanezca constante, siendo necesario para ello cubrirlas con una lona húmeda. El

tiempo de curado será de tres (3) y de siete (7) días, para estabilizaciones con cemento Portland, y en el caso de cemento Portland puzolánico, puzolana con cal hidratada o algún otro material de fraguado y endurecimiento semejante a estos últimos, los tiempos de curado serán de siete (7) y veintiocho (28) días. En las estabilizaciones con cal hidratada, los tiempos de curado podrán ser de tres (3) horas, veinticuatro (24) horas, quince (15) días, un (1) mes, tres (3) meses, seis (6) meses, nueve (9) meses y doce (12) meses, según se requiera.

- a4) Tanto a la muestra testigo como a las estabilizadas, después de terminar el curado de estas últimas, se les efectuarán las siguientes pruebas:
 - a4.a) Composición granulométrica de acuerdo con lo indicado en la cláusula (009-G) de este Capítulo.
 - a4.b) Límites de plasticidad y contracción lineal, de acuerdo con lo indicado en la cláusula (009-H).
 - a4.c) Equivalente de arena, de acuerdo con el procedimiento descrito en la cláusula (009-I).
 - a4.d) Valor cementante, según lo indicado en la cláusula (009-K) de este Capítulo.
 - a4.e) Índice de resistencia del suelo modificado, de acuerdo con alguno de los métodos descritos en la cláusula (6.01.01.002-N) de este Libro 6 o lo que indique el proyecto.

- b) Para verificar la calidad del suelo modificado, preparado y curado en la obra. En este caso únicamente se efectúan a la muestra de material estabilizado las pruebas indicadas en el subpárrafo a4), párrafo a), de este inciso. La muestra para estas pruebas se tomará durante la etapa de tendido.

009-V.05 En esta prueba se calcula y reporta lo siguiente:

- a) En el caso de diseño de estabilizaciones con cementos Portland o puzolanas, se grafican por separado los resultados obtenidos en cada una de las pruebas indicadas en el subpárrafo a4), párrafo a) del inciso (009-V.04), de este Capítulo, dibujando en escala aritmética las curvas por ciento de estabilizante-por ciento que pasa la malla Núm. 0.075, por ciento de estabilizante-contracción lineal, por ciento de estabilizante-equivalente de arena, por ciento de estabilizante-índice de resistencia y por ciento de estabilizante-valor cementante, colocando en el eje de las abscisas los porcentajes en peso de estabilizante utilizado y en el eje de las ordenadas, los restantes valores respectivos, para cada una de las etapas de prueba.
- b) Cuando se trate de diseño de estabilizaciones con cal, se dibujan para cada uno de los porcentajes utilizados, las curvas con tracción lineal-tiempo, índice de resistencia-tiempo, valor cementante-tiempo y equivalente de arena-tiempo, utilizando escala logarítmica en el eje de las abscisas, para representar tiempos, y escala aritmética en el eje de las ordenadas, para los demás va

lores; también se dibuja en escala aritmética la curva por ciento de estabilizante-por ciento del material que pasa la malla Núm. 0.075, colocando en el eje de las abscisas los porcentajes en peso de estabilizante y en el eje de las ordenadas el por ciento en peso que pasa la malla Núm. 0.075.

- c) Se reportan como resultados de esta prueba, en el caso de diseño de estabilizaciones, el porcentaje mínimo en peso de material estabilizante que se requiera para que el suelo reúna los requisitos de calidad establecidos en el proyecto, adjuntando, según se requieran, las gráficas indicadas en los párrafos a) ó b) de este inciso. En el caso de la verificación de calidad del suelo modificado, preparado y curado en la obra se reportarán únicamente los resultados de las pruebas que se indican en el subpárrafo a4), párrafo a) del inciso (009-V.04) de este Capítulo.

009-W PRUEBAS EN MATERIALES ESTABILIZADOS CON CEMENTO PORTLAND. ESTABILIZACION DE TIPO RIGIDO (SUELO-CEMENTO)

009-W.01 En esta Cláusula se describen las pruebas que se utilizan en el diseño y verificación de las estabilizaciones de tipo rígido que se efectúan a los materiales para revestimientos, sub-bases o bases de pavimento, adicionándoles cantidades de cemento Portland que generalmente varían de cuatro a catorce por ciento (4 a 14%) en peso. Para el diseño de las estabilizaciones se preparan mezclas de prueba con diferentes contenidos de cemento, compactándolas dinámicamente para determinar su peso específico seco máximo y humedad óptima; también se elaboran con el mismo procedimiento, especímenes para las pruebas de expansión y pérdida por cepillado en

ciclos de humedecimiento y secado, así como para la prueba de resistencia a la compresión sin confinar. Con estos resultados se define la cantidad mínima de cemento que requiere la estabilización, o bien, en el caso de verificación de calidad en la obra, si se cumple con los requisitos de proyecto.

009-W.02 La obtención del material pétreo que se vaya a utilizar en el diseño de estabilizaciones de tipo rígido, se hará conforme a lo que se indica en la cláusula (009-B) de este Capítulo y su preparación se llevará a cabo como se describe en la cláusula (009-C), tomando como mínimo doscientos cincuenta (250) kilogramos. Para el muestreo del cemento Portland se procederá de acuerdo con lo que se indica en la cláusula (6.01.02.004-B) de este Libro 6.

- a) El equipo necesario para preparar las mezclas de prueba es el siguiente:

Mallas Núms. 75.0, 19.0 y 4.75.

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

Charolas cuadradas.

Recipientes adecuados.

- b) Para preparar el material que se utilizará en las pruebas se criba toda la muestra por las mallas Núms. 75.0, 19.0 y 4.75; se determinan los porcentajes de material retenido en las citadas mallas y el porcentaje que pasa la última de ellas, todos con respecto al peso seco de la muestra sin incluir el retenido en la malla Núm. 19.0 y se elimina este retenido. En estas condiciones, las fracciones de la muestra de material quedan disponibles para elaborar las mezclas de prueba, tanto para la determinación del peso específico seco máximo y hume

dad óptima, como para la elaboración de los especímenes de prueba que requieren las pruebas de expansión y pérdida por cepillado y la de compresión sin confinar.

009-W.03 Se determinarán el peso específico seco máximo y la humedad óptima en mezclas de prueba para cada porcentaje de cemento Portland, tomando en cuenta lo que se indica a continuación:

- a) El equipo necesario para efectuar estas de terminaciones es el indicado en la cláusula (6.01.01.002-K) para la prueba de compactación AASHTO que fije el proyecto, empleando moldes de ciento uno punto seis (101.6) milímetros de diámetro.
- b) Se pesan las cantidades necesarias de la fracción que pasa la malla Núm. 19.0 y se retiene en la Num. 4.75 y de la fracción que pasa la malla últimamente referida, a fin de integrar una muestra de prueba de dos punto cinco (2.5) kilogramos aproximadamente, tomando en consideración los porcentajes obtenidos según el párrafo b) del inciso (009-W.02).
- b1) Se toma la fracción que pasa la malla Núm. 19.0 y se retiene en la Num. 4.75 y se pone a saturar en agua. La fracción que pasa la malla Núm. 4.75 se mezcla en seco con la cantidad de cemento correspondiente al porcentaje más bajo seleccionado, hasta obtener una mezcla de color uniforme; se le adiciona el agua necesaria para que la mezcla tenga una humedad de cuatro a seis por ciento (4 a 6%) abajo de su óptima estimada, después de lo cual se revuelve perfectamente.

- b2) A continuación se agrega la fracción saturada y escurrida sobre la malla Núm. 4.75 del material pétreo, a la mezcla mencionada en el subpárrafo b1) de este párrafo; se homogeneiza cuidadosamente y en seguida se elabora el espécimen compactando el material como se describe en la prueba correspondiente seleccionada según se indicó en el párrafo a) de este inciso; con excepción de que una vez tomada la muestra para determinar la humedad, se descarta el material del espécimen respectivo.
- b3) Se repite lo indicado en los subpárrafos b1) y b2) de este párrafo, en nuevas muestras de material correspondientes a la mezcla de contenido de cemento más bajo, y de acuerdo con el método de compactación seleccionado, se prosigue la prueba incrementando la humedad para elaborar nuevos especímenes hasta obtener el peso específico seco máximo y la humedad óptima correspondiente a esta mezcla.
- b4) A continuación se repite el procedimiento indicado en los subpárrafos b1) a b3) de este párrafo, para determinar el peso específico seco máximo y la humedad óptima de las mezclas correspondientes a los de más porcentajes de cemento elegidos para proyectar la estabilización.

009-W.04 La determinación de la expansión o aumento de volumen y de la pérdida por cepillado en ciclos de humedecimiento y secado, se llevará a cabo elaborando previamente para cada uno de los contenidos de cemento seleccionados, dos (2) especímenes de suelo-cemento con su humedad óptima, los cuales una vez que han endurecido se someten a doce (12) ciclos de humedecimiento y secado.

do, para determinar la expansión en uno de los especímenes de cada grupo, y en el otro espécimen el por ciento en peso de material que pierde al someterse a un proceso de cepillado.

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

El indicado en la cláusula (6.01.01.002-K) utilizando moldes de ciento uno punto seis (101.6) milímetros de diámetro, para la prueba de compactación AASHTO que fije el proyecto.

Cámara que mantenga una humedad relativa no menor de noventa por ciento (90%) a la temperatura de veintiún grados centígrados (21°C).

Recipiente para saturación de especímenes.

Cepillo de seis (6) por diecinueve (19) centímetros, de alambres calibre número veintiséis (26) de cinco (5) centímetros de largo, distribuidos en cincuenta (50) grupos de diez (10) alambres cada uno y que formen cinco (5) hileras de diez (10) grupos cada una.

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

Calibrador de vernier del tipo Máuser, con aproximación de cero punto un (0.1) milímetro.

Prensa de tornillo, para carpintero, con abertura de sujeción de quince (15) centímetros aproximadamente.

- b) La prueba se efectuará en la forma siguiente:

b1) Utilizando porciones de los materiales obtenidos y preparados como se indica en el inciso (009-W.02) de este Capítulo se elaboran, de acuerdo con lo indicado en el párrafo (009-W.03.b) y con la humedad óptima respectiva, cinco (5) mezclas de prueba de cinco (5) kilogramos aproximadamente cada una, correspondiendo éstas a los porcentajes de cemento seleccionados. Con cada una de estas mezclas se elaboran dos (2) especímenes de prueba compactándolos de acuerdo con el procedimiento seleccionado, según se establece en el párrafo (009-W.03.a) de este Capítulo; se determinan el peso específico seco y la humedad, w , en los especímenes de cada grupo, verificando esta última en el material sobrante de la elaboración de los dos (2) especímenes del grupo considerado. A continuación se compara el peso específico y la humedad de cada espécimen con los valores de peso específico seco máximo y humedad óptima, previamente determinados de acuerdo con lo indicado en el inciso (009-W.03), no debiendo tenerse diferencias fuera de los intervalos de más menos tres por ciento ($\pm 3\%$) en el peso específico y de más menos uno por ciento ($\pm 1\%$) en la humedad; en el caso de no cumplirse estas tolerancias, se desecharán los especímenes y se elaborarán otros utilizando nuevas muestras de material. La elaboración de los especímenes para la verificación de la calidad en mezclas suelo-cemento, se hará con muestras de la mezcla preparada en la obra, debiendo realizarse el muestreo correspondiente tan pronto se termine la incorporación de cemento y

agua al agregado pétreo; se evitarán las pérdidas de humedad, y en seguida se compactará la mezcla aplicando el procedimiento de compactación dinámica que fije el proyecto, elaborándose dos (2) especímenes como mínimo.

- b2) A continuación se extraen los especímenes de sus respectivos moldes y se marcan los dos (2) de cada contenido de cemento, con este dato y las letras A y B respectivamente, registrando su peso W_A y W_B con aproximación de un (1) gramo; se determinan en los especímenes A de cada grupo, su diámetro promedio d_A y la altura promedio h_A registrando estos valores con aproximación de cero punto un (0.1) milímetro, para calcular su volumen inicial V_A y se marcan con pintura los puntos de dicho espécimen donde se hicieron las mediciones. En seguida se colocan en charolas los especímenes A y B de cada grupo, apoyando los por su base inferior, tal como fueron compactados y a continuación se introducen en la cámara húmeda durante un período de siete (7) días, evitando la acción del agua que pueda dañarlos.
- b3) Transcurrido el período de curado, se sacan todos los especímenes del cuarto húmedo. A los especímenes A de cada contenido de cemento se les determina su peso W_{A1} procediéndose a registrar estos datos con aproximación de un (1) gramo; asimismo, se obtiene su diámetro promedio d_{A1} y su altura promedio h_{A1} en los puntos marcados, cuyos valores se registran con aproximación de cero punto un (0.1) milímetro.

- b4) Se colocan todos los especímenes en el recipiente de saturación a la temperatura ambiente durante cinco (5) horas, y transcurrido este lapso se sacan del recipiente, se escurren y se procede de inmediato a determinar en los especímenes A de cada contenido de cemento, su peso W_{A2} , altura h_{A2} y diámetro d_{A2} , registrando los valores respectivos con la aproximación indicada en los subpárrafos b2) y b3) de este párrafo.
- b5) A continuación se introducen todos los especímenes en el horno a una temperatura de setenta y un grados centígrados (71°C), durante cuarenta y dos (42) horas.
- b6) Transcurrido este tiempo se sacan del horno todos los grupos de especímenes y a los marcados con la letra A se les determina su peso W_{A3} , su diámetro d_{A3} y su altura h_{A3} , de acuerdo con lo indicado en el subpárrafo b3) de este párrafo. A los especímenes marcados con la letra B, se les dan en toda su superficie dos (2) pasadas con el cepillo de alambre, aplicando una fuerza aproximada de uno punto cuatro (1.4) kilogramos; estas dos pasadas se obtienen dando un total de veintiséis (26) cepilladas aproximadamente, repartidas cuatro (4) en cada base y dieciocho (18) en la superficie lateral del espécimen cilíndrico. A fin de medir estimativamente o calibrar la fuerza mencionada, se fija con la prensa de tornillo el espécimen en el borde del platillo de la balanza y en posición vertical se nivela y se aplican al espécimen pasadas con el cepillo de alambre en dirección vertical so

bre su cara lateral, observando en la balanza la fuerza necesaria para que el fiel registre uno punto cuatro (1.4) kilogramos aproximadamente, Figura Núm. 21. Los pasos incluidos en los subpárrafos b3) a b6) de este párrafo, constituyen el primer ciclo de esta prueba.

- b7) Se repiten en los especímenes A y B de todos los grupos, los procedimientos indicados en los subpárrafos b3) a b6) de este párrafo, hasta completar un total de doce (12) ciclos. Si durante la aplicación de los ciclos de humedecimiento y secado, los pesos, diámetros y alturas en uno o más de los especímenes A no son congruentes con sus propios valores, debido a que se deteriore o se pierda parte de la mezcla que los forma, se suspende en los especímenes con valores incongruentes la aplicación de los ciclos faltantes de la prueba. En la ejecución de esta prueba no deberán alterarse ni perder continuidad los ciclos que la integran, excepto el secado en el horno que podrá prolongarse cuando sea necesario para adaptar la ejecución de la prueba al horario de trabajo.
- b8) Terminada la aplicación de los doce (12) ciclos, se secan todos los especímenes en el horno a ciento cinco más menos cinco grados centígrados ($105 \pm 5^{\circ}\text{C}$), hasta peso constante, se pesan y registran para cada contenido de cemento, los pesos finales W_{Adf} y W_{pdf} , respectivamente con aproximación de un (1) gramo.
- c) En esta prueba se calcula y reporta lo siguiente:

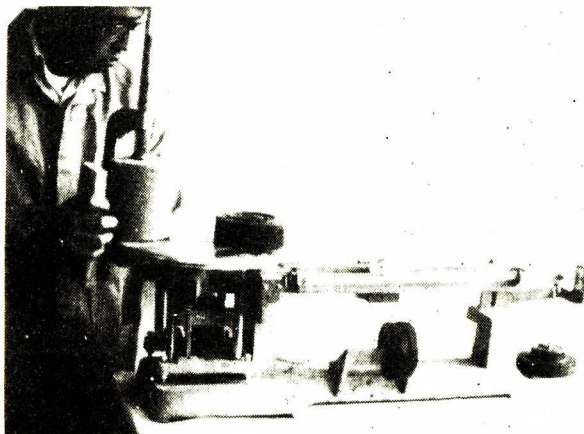


Figura Núm. 21. Calibración de la presión de cepillado utilizando la balanza.

- c1) Se calcula el cambio de volumen de los especímenes A, restando el volumen inicial V_A de los respectivos volúmenes determinados durante cada ciclo y se expresan como porcentajes del volumen inicial.
- c2) Se calculan los pesos iniciales W_{Adi} y W_{Bdi} de los especímenes A y B en estado seco, respectivamente, mediante las siguientes fórmulas:

$$W_{Adi} = \frac{W_A}{100 + w} \times 100$$

$$W_{Bdi} = \frac{W_B}{100 + w} \times 100$$

En donde:

W_{Adi} y W_{Bdi} son los pesos iniciales de los especímenes A y B en estado seco, respectivamente, en gramos.

W_A y W_B son los pesos iniciales de los especímenes A y B en estado húmedo, respectivamente, en gramos.

w es el contenido de agua de la mezcla con que se elaboran los especímenes, en por ciento.

- c3) Se calcula para cada contenido de cemento la humedad de los especímenes A al final de la saturación de cada ciclo y los datos respectivos se expresan como porcentaje de la humedad inicial del espécimen.
- c4) Se calcula el por ciento de agua retenida en los especímenes A que se combinó con el cemento y el suelo de cada espécimen, por medio de la siguiente fórmula:

$$W_{Ar} = \frac{W_{Af} - W_{Adi}}{W_{Adi}} \times 100$$

En donde:

W_{Ar} es el agua de combinación retenida al final de la prueba en cada uno de los especímenes A, referida a su peso inicial en estado seco, en por ciento.

W_{Af} es el peso al final de la prueba de cada uno de los especímenes A en estado seco, en gramos.

W_{Adi} es el peso inicial de cada uno de los especímenes A en estado seco, en gramos.

- c5) Se calculan los pesos corregidos de los especímenes B en estado seco, para tomar en cuenta las modificaciones en peso, ori

ginadas por el agua que se combinó con el cemento contenido en cada espécimen, por medio de la siguiente fórmula:

$$W_{Bdc} = \frac{W_{Bf}}{100 + w_{Ar}} \times 100$$

En donde:

W_{Bdc} es el peso corregido por agua de combinación, de cada uno de los especímenes B en estado seco, en gramos.

W_{Bf} es el peso al final de la prueba, de cada uno de los especímenes B en estado seco, en gramos.

w_{Ar} es el agua retenida en cada uno de los especímenes A, al final de la prueba, calculada como se indicó en el subpárrafo c4) de este párrafo, en por ciento.

- c6) Se calcula la pérdida por cepillado de la mezcla suelo-cemento de los especímenes B, que se tuvo durante los ciclos de humedecimiento y secado, expresándola como porcentaje del peso inicial del espécimen considerado, en estado seco, por medio de la siguiente fórmula:

$$L = \frac{W_{Bdi} - W_{Bdc}}{W_{Bdi}} \times 100$$

En donde:

L es la pérdida por cepillado, en por ciento.

W_{Bdi} es el peso inicial del espécimen B considerado, en estado seco, en gramos.

W_{Bdc} es el peso corregido del espécimen B considerado, al final de la prueba, en estado seco, en gramos.

- c7) Se dibujan en un sistema de ejes coordenados las gráficas peso volumétrico seco máximo-por ciento de cemento, expansión-por ciento de cemento y pérdida por cepillado-por ciento de cemento, para lo cual se colocan en los ejes de las abscisas los porcentajes de cemento seleccionados y en los ejes de las ordenadas los respectivos valores de los demás parámetros considerados.
- c8) Se reporta la humedad óptima w_0 en por ciento, y el peso específico seco máximo $\gamma_{dm\acute{a}x}$, en kilogramos por metro cúbico, de terminados como se indica en el inciso (009-W.03) de este Capítulo, para cada porcentaje de cemento seleccionado.
- c9) Se reportan la expansión o cambio de volumen y el contenido máximo de agua que re tienen los especímenes A, durante los ciclos de humedecimiento y secado, para cada contenido de cemento, ambos en por ciento.
- c10) Se reporta la pérdida por cepillado de la mezcla de suelo-cemento, determinada en los especímenes B para cada contenido de cemento, en por ciento.
- c11) Se reporta el porcentaje mínimo de cemento en peso, que se requiere para que el suelo cumpla con lo especificado.
- c12) Para el caso de la verificación de calidad en la obra de las mezclas de suelo-cemento, el reporte consistirá únicamente en lo indicado en los subpárrafos c8) a

c10) de este párrafo, excepto que no se incluye la humedad óptima y el peso específico seco máximo, sino la humedad w y el peso específico γ_d , obtenidos en cada uno de los especímenes recién elaborados, en por ciento y en kilogramos por metro cúbico, respectivamente.

009-W.05 La prueba de resistencia a la compresión sin confinar en estabilizaciones de tipo rígido tiene por objeto determinar la proporción más conveniente de cemento Portland que debe mezclarse a un suelo, a fin de producir una estabilización cuyas características satisfagan los requisitos fijados en el proyecto, así también, durante la construcción se aplica esta prueba para verificar la calidad de las mezclas de suelo-cemento.

a) El procedimiento consiste en determinar la resistencia a la compresión sin confinar, a las edades de prueba de tres (3), siete (7) y veintiocho (28) días, en especímenes cilíndricos que se elaboran con suelos tratados con diferentes porcentajes de cemento y compactados con carga estática o bien, con el procedimiento fijado en el proyecto. Los especímenes deberán tener una relación altura-diámetro de dos (2) y relación diámetro del espécimen-tamaño máximo del agregado pétreo, mayor de seis (6).

b) El equipo y materiales necesarios para efectuar la prueba son los siguientes:

Moldes metálicos de doce punto siete (12.7) centímetros de diámetro interior y veinticinco punto cuatro (25.4) centímetros de altura, provistos de una base metálica y de una extensión o collarín removible, Figura Núm. 22. Los moldes podrán ser de un diámetro y altura diferentes a los indicados, pe

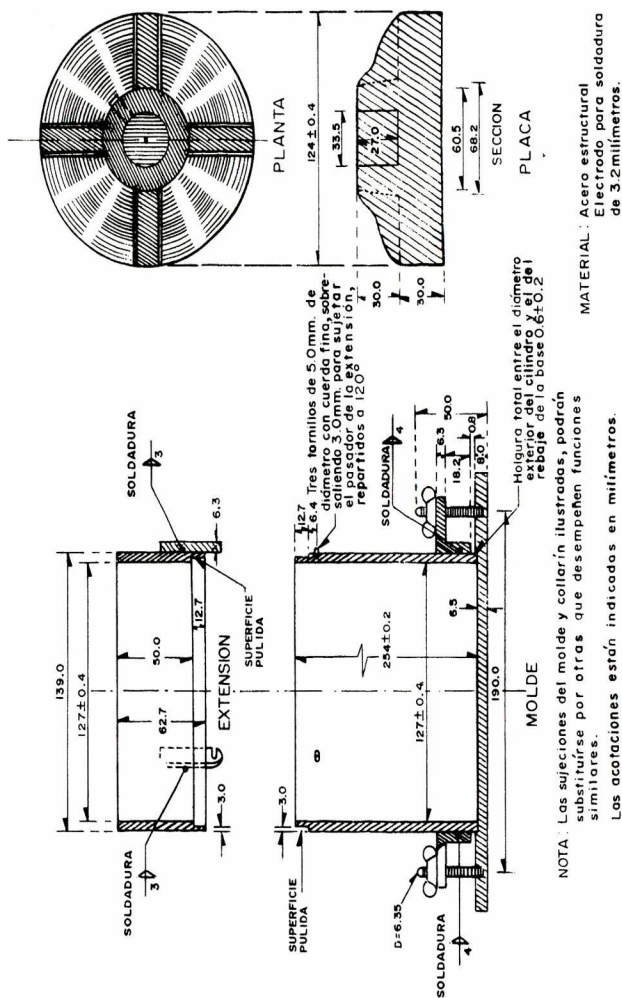


FIGURA NUM. 22 MOLDE Y PLACA DE COMPACTACION PARA PRUEBAS EN ESTABILIZACION DE TIPO RIGIDO

ro deberán satisfacer los requisitos mencionados en el párrafo a) de este inciso.

Placa metálica circular para compactación, cuyo diámetro sea ligeramente menor que el diámetro interior del molde seleccionado Figura Núm. 22.

Máquina de compresión con capacidad mínima de treinta (30) toneladas y velocidad de desplazamiento del cabezal de cero punto un (0.1) centímetro por minuto.

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

Varilla metálica de doce punto siete (12.7) milímetros de diámetro y treinta (30) centímetros de longitud, con punta de bala.

Cámara de curado acondicionada para mantener una humedad relativa de cuando menos noventa por ciento (90%), a veintiún grados centígrados (21°C).

Cuchara de albañil.

Charolas de lámina rectangulares.

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

Probetas graduadas.

Guantes de hule.

Yeso.

Grasa.

c) La prueba se efectúa en la forma siguiente:

- c1) Utilizando porciones de los materiales obtenidos y preparados como se indica en el inciso (009-W.02) de este Capítulo, se elaboran tres (3) mezclas de cincuenta y

cinco (55) kilogramos aproximadamente cada una, con la humedad óptima y porcentajes de cemento correspondientes al mínimo, al mínimo más uno por ciento (1%) y al mínimo más dos por ciento (2%); el contenido mínimo de cemento es el determinado mediante la prueba de expansión y pérdida por cepillado, descrita en el inciso (009-W.04).

- c2) Con cada una de las tres (3) mezclas antes mencionadas y procediendo en forma sucesiva, se preparan nueve (9) especímenes colocando en cada uno de los moldes, previamente engrasados, la cantidad de suelo-cemento necesaria para que al compactar el material con la humedad óptima y obtener el peso específico seco máximo de terminado como se indica en el inciso (009-W.03) de este Capítulo, se tengan especímenes con altura de veinticinco punto cuatro (25.4) centímetros. Para lo anterior, cada porción de material se acomoda inicialmente en su respectivo molde mediante picado con la varilla metálica; a continuación se coloca cada molde conteniendo su muestra respectiva, en la máquina de compresión y se aplica carga uniforme y lentamente, hasta que el espécimen elaborado tenga la altura indicada. La fabricación de los especímenes para la verificación de calidad de mezclas elaboradas en la obra, se hará con la humedad que contenga la muestra que se tome, la cual debe protegerse para evitar pérdidas por evaporación; en este caso el muestreo debe realizarse tan pronto se termine la incorporación del cemento y el agua al mate

rial pétreo, y tomando la cantidad suficiente de muestra para elaborar en seguida y de acuerdo con el procedimiento de compactación que fije el proyecto, un grupo de tres (3) especímenes que se requiere ensayar a la edad de prueba especificada.

- c3) En seguida se colocan en el cuarto húmedo los especímenes en sus respectivos moldes, hasta que alcancen la resistencia adecuada para sacarlos de ellos; una vez alcanzada dicha resistencia se extraen de los moldes y se vuelven a colocar en el cuarto húmedo, formando por cada contenido de cemento, tres (3) grupos de tres (3) especímenes cada uno, dejándolos ahí hasta que se cumplan las edades de prueba de cada grupo, que serán de tres (3), siete (7) y veintiocho (28) días. Durante la permanencia de los especímenes en el cuarto húmedo, se evitará que queden expuestos al goteo del agua.
- c4) Al cumplirse el tiempo de curado de cada grupo se sacan del cuarto húmedo los tres (3) especímenes que lo forman y se les determina a cada uno su diámetro, haciendo dos (2) mediciones en cada una de sus bases, en diámetros perpendiculares entre sí; a continuación se anotan los valores obtenidos en centímetros, con aproximación de un (1) milímetro.
- c5) Se cabecean los especímenes con pasta de yeso, cuidando que la capa sea lo más delgada posible, se protegen para que no pierdan humedad y se dejan en reposo el tiempo necesario para que el yeso adquiera una resistencia adecuada y no

NORMAS DE MUESTREO Y PRUEBAS DE MAT., EQUIPOS Y SISTEMAS

se rompa antes de que falle el espécimen.

c6) En forma sucesiva se coloca cada espécimen en la máquina de compresión, centrándolo convenientemente; se le aplica carga con una velocidad de deformación uniforme de cero punto un (0.1) centímetro por minuto, aproximadamente y se registra la carga C que produce su falla, con aproximación de diez (10) kilogramos.

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

d1) Se calcula el diámetro promedio de cada uno de los especímenes ensayados, con aproximación de un (1) milímetro y se determina el área promedio de la sección transversal, A_t , de cada espécimen, en centímetros cuadrados, con aproximación al décimo.

d2) Se calcula la resistencia a la compresión de cada espécimen ensayado, por medio de la siguiente fórmula:

$$R_c = \frac{C}{A_t}$$

En donde:

R_c es la resistencia a la compresión sin confinar de cada espécimen, en kilogramos por centímetro cuadrado.

C es la carga que produjo la falla del espécimen, en kilogramos.

A_t es el área promedio de la sección transversal del espécimen, en centímetros cuadrados.

d3) Se calcula la resistencia promedio de cada grupo de tres (3) especímenes de igual

edad y contenido de cemento, en kilogramos por centímetro cuadrado.

- d4) Se dibujan las gráficas resistencia a la compresión-edad, para cada porcentaje de cemento, colocando en el eje de las abscisas la edad de prueba en días y en el eje de las ordenadas la resistencia a la compresión correspondiente, en kilogramos por centímetro cuadrado; también se dibujan las gráficas resistencia a la compresión-contenido de cemento en peso, para cada edad de prueba, colocando en las abscisas el contenido de cemento y en las ordenadas la resistencia a la compresión.
- d5) Se reporta como resultados de esta prueba lo siguiente:
 - d5.a) El porcentaje mínimo de cemento en peso, con el cual el suelo cumple el requisito de resistencia de proyecto, obtenido de la gráfica correspondiente a la edad especificada; así también, las gráficas resistencia a la compresión-edad, elaboradas para cada porcentaje de cemento y las gráficas resistencia a la compresión-contenido de cemento en peso, para cada edad de prueba.
 - d5.b) La humedad óptima, w_o , en por ciento y el peso específico seco máximo, $\gamma_{dm\acute{a}x}$, en kilogramos por metro cúbico, determinados como se indica en el inciso (009-W.03) de este Capítulo, para el porcentaje de cemento mínimo con el cual el suelo cumple con los requisitos fijados en el proyecto; con este objeto, se elabora una mezcla con dicho contenido de cemento, que servirá además para verificar si

se cumple con la resistencia especificada.

d5.c) En el caso de verificación de la calidad de las mezclas de suelo-cemento elaboradas en la obra, se reporta la resistencia media, así como el peso específico en estado seco y la humedad promedio de los especímenes de prueba.

e) Al efectuar esta prueba se tendrán las siguientes precauciones:

e1) Que al probar los especímenes a la compresión, no se produzcan impactos con la aplicación de la carga.

e2) Que durante la ejecución de la prueba, los especímenes no sufran pérdidas de humedad apreciables.

e3) Que al manejar los especímenes durante la ejecución de la prueba, no se golpeen o deformen.

f) En el caso del diseño de la estabilización de tipo rígido, objeto de esta cláusula (009-W), el contenido mínimo final de cemento Portland que se recomiende para elaborar la mezcla en la obra, será aquél que satisfaga los requisitos de proyecto en cuanto a expansión, pérdida por cepillado en ciclos de humedecimiento y secado, y resistencia a la compresión sin confinar.

009-X DETERMINACION DEL CONTENIDO DE CEMENTO
PORTLAND EN MATERIALES ESTABILIZADOS.
METODO DE TITULACION

009-X.01 Esta prueba tiene por objeto determinar el por ciento de cemento Portland que contienen las mezclas frescas de suelos tratados con cemento, que se utilizan en la construcción de revestimientos, sub-bases y

bases de pavimento; consiste en aplicar procedimientos químicos que relacionan el contenido de cemento en las mezclas con volúmenes de soluciones de concentración conocida que se requieren para producir determinadas reacciones en el proceso. Aun cuando la prueba se describe refiriéndose a estabilizaciones con cemento Portland, también puede ser aplicada a suelos tratados con cal hidratada.

- a) Existen dos alternativas de prueba que se derivan del tipo de reacción que presente el material pétreo con ácido clorhídrico. Cuando dicho material o agregado no reacciona con este ácido se usa la prueba de titulación denominada ácido base; en caso contrario, se usa la prueba de titulación por neutralización constante. Previamente se definirá cual de estas dos alternativas es aplicable al agregado, determinando para ello si éste contiene cantidades significativas de materiales que reaccionen con el ácido clorhídrico, tales como calizas, calizas, dolomitas y otros. Para lo anterior se ensayarán muestras por separado de los agregados sin cemento y de arena de Ottawa, aplicando los procedimientos de preparación de la muestra, digestión en ácido y titulación, como se describe en la prueba de titulación ácido base; si la diferencia de los resultados de las pruebas aplicadas a los agregados sin tratar y a la arena de Ottawa es igual o menor que seis (6) centímetros cúbicos de hidróxido de sodio (NaOH), se aplicará la prueba de titulación ácido base y si es mayor de seis (6) centímetros cúbicos, se aplicará la prueba de titulación por neutralización constante.

009-X.02 El equipo y materiales necesarios para efectuar esta prueba son los siguientes:

Bureta de titulación de cien (100) centímetros cúbicos de capacidad.

Pipeta de cien (100) centímetros cúbicos de capacidad.

Soporte con pinzas para bureta.

Dos (2) probetas con capacidad de cien (100) centímetros cúbicos y graduaciones de diez (10) centímetros cúbicos.

Probeta con capacidad de mil (1000) centímetros cúbicos y graduaciones de diez (10) centímetros cúbicos.

Cuatro (4) matraces volumétricos aforados, con capacidad de doscientos (200) centímetros cúbicos.

Ocho (8) matraces Erlenmeyer, con capacidad de doscientos cincuenta (250) centímetros cúbicos.

Ocho (8) vasos de precipitado, de plástico, con tapa y con capacidad mínima aproximada de quinientos (500) centímetros cúbicos.

Gotero de vidrio o de plástico.

Ocho (8) vasos de precipitado, de plástico, con capacidad de un (1) litro.

Ocho (8) recipientes de polietileno de boca ancha, con capacidad de dos (2) litros.

Tres (3) garrafones de plástico, con tapa de aproximadamente veinte (20) litros de capacidad, equipados con sifones de tubo de neopreno y pinzas para tubos de plástico.

Ocho (8) agitadores de acero inoxidable.

Mallas de aberturas cuadradas Núms. 37.5 y 9.5.

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

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

Medidor de tiempo o reloj con alarma y registro de tiempo.

Mascarillas, anteojos, delantales y guantes, todos para proteger al personal contra los ácidos.

Lámpara de pilas secas o fuente de luz similar.

Acido clorhídrico, grado analítico.

Hidróxido de sodio, grado analítico.

Fenolftaleína.

Arena de Ottawa.

Agua destilada.

Alcohol etílico.

Franela roja.

Acido clorhídrico tres normal (3N), que se prepara vaciando cinco (5) litros de ácido clorhídrico grado analítico a uno de los garrafones de plástico de veinte (20) litros de capacidad y agregando a continuación, agua limpia, de cinco (5) en cinco (5) litros aproximadamente, hasta completar veinte (20) litros; se agita vigorosamente la mezcla durante un minuto aproximadamente en cada adición de agua, para obtener la solución homogénea requerida.

Solución de hidróxido de sodio uno normal (1N), que se prepara disolviendo ochocientos cincuenta (850) gramos de hidróxido de sodio en cuatro (4) litros de agua limpia a una temperatura de cuarenta grados centígrados (40°C) aproximadamente; se vacía la solución a uno de los garrafones de veinte (20) litros y se agita en forma vigorosa durante un (1) minuto aproximadamente. A continuación se adiciona agua en porciones de cuatro (4) litros, agitando la solución después de cada adición, siguiendo el procedimiento hasta completar veinte (20) litros de solución. Después de adicionar los primeros cuatro (4) litros de agua a cuarenta grados centígrados (40°C) la temperatura del agua en cada adición, se irá disminuyendo de tal manera que la última porción agregada esté a la temperatura ambiente. Se deja enfriar la solución a la temperatura ambiente y se observa si existe material en suspensión, empleando para ello la lámpara de pilas, ya que la solución deberá ser clara para poderse utilizar, y de no ser así, se desechará y se preparará una nueva, verificando la temperatura y en caso de ser necesario aumentando el tiempo de agitado.

Solución de fenolftaleína al uno por ciento (1%) que se prepara disolviendo cinco (5) gramos de fenolftaleína en polvo, químicamente pura, en doscientos cincuenta (250) centímetros cúbicos de alcohol etílico y diluyendo esta solución en doscientos cincuenta (250) centímetros cúbicos de agua destilada.

009-X.03 La preparación de las muestras se efectúa en

la forma siguiente:

- a) Mediante el procedimiento indicado en la cláusula (009-B) de este Libro 6, se obtendrán de tres (3) a ocho (8) muestras de suelo-cemento, para la alternativa de ácido base y de tres (3) a cinco (5) muestras, para la neutralización constante; cada una de estas muestras tendrá un peso aproximado de cinco (5) kilogramos, el cual deberá determinarse y registrarse con aproximación de cinco (5) gramos.
- b) Con la humedad que tiene el material estabilizado, se criba por las mallas Núms. 37.5 y 9.5, y se elimina, en su caso, el retenido en la malla primeramente mencionada.
- c) Se pesa la fracción que pasa la malla Núm. 9.5 y se determina su por ciento en peso con relación a la muestra de suelo-cemento, sin incluir el retenido en la malla Núm. 37.5.
- d) A continuación se mezclan la fracción que se retiene y la que pasa la malla Núm. 9.5 y de esta mezcla se obtiene una porción representativa de trescientos (300) gramos, que se coloca en un recipiente de polietileno de dos (2) litros de capacidad.
- e) Se repite el procedimiento descrito en los párrafos b) a d) de este inciso, en cada una de las muestras de suelo-cemento y se colocan sobre una mesa, formando hileras, las porciones representativas obtenidas.
- f) El total de los tiempos necesarios para la elaboración de la mezcla de suelo-cemento, muestreo, transporte y preparación de la porción representativa de trescientos (300)

gramos, no deberá ser menor de treinta (30), ni mayor de noventa (90) minutos y se contará a partir del momento en que el agua entra en contacto con el cemento; este tiempo será el mismo para todas las muestras de un grupo y se designará como tiempo de reposo.

009-X.04 La prueba se efectúa en la forma siguiente:

a) Para el caso de mezclas formadas por materiales pétreos que no reaccionan significativamente con el ácido clorhídrico, como se indica en el párrafo (009-X.01.a) de este Capítulo, se aplicará el procedimiento de titulación ácido base, el cual consiste en adicionar a una muestra de la mezcla que contiene cemento, debidamente preparada, un volumen determinado de solución de ácido clorhídrico; parte de esta solución reacciona con el cemento y el volumen excedente se titula o valoriza con una solución de hidróxido de sodio. La cantidad de hidróxido de sodio que se necesita adicionar en esta titulación es una medida del contenido de cemento en la mezcla, que se definirá basándose en la curva de correlación, debiendo procederse como sigue:

a1) Se mide para cada muestra de prueba preparada un volumen de doscientos (200) centímetros cúbicos de la solución de ácido clorhídrico tres normal (3N), usando para ello un matraz aforado; se vierte cada volumen medido de ácido a su respectivo matraz Erlenmeyer y se coloca cada uno de éstos junto al recipiente de polietileno conteniendo la muestra que le corresponde, Figura Núm. 23.

a2) Se vacían cuatrocientos (400) centímetros

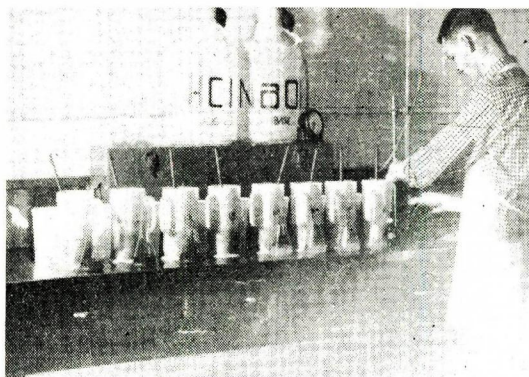


Figura Núm. 23. Disposición del equipo para la prueba de titulación.

cúbicos de agua limpia en cada uno de los vasos de precipitado y se colocan junto a los matraces Erlenmeyer respectivos.

- a3) Se vacían los doscientos (200) centímetros cúbicos de solución de ácido clorhídrico a una de las muestras de prueba; simultáneamente se hace funcionar el medidor de tiempo y se agita la muestra durante cuarenta y cinco (45) segundos. Se repite sucesivamente este paso en cada una de las muestras, en forma continuada y sin parar el medidor de tiempo.
- a4) Cuando dicho medidor registre seis (6) minutos se agita cada una de las muestras durante otros cuarenta y cinco (45) segundos, en forma sucesiva a partir de la primera muestra.
- a5) Al transcurrir doce (12) minutos se agitan nuevamente cada una de las muestras durante cuarenta y cinco (45) segundos,

- en forma sucesiva, a partir de la primera.
- a6) Cuando el medidor de tiempo registre dieciocho (18) minutos se les agregan en forma sucesiva a cada una de las muestras los cuatrocientos (400) centímetros cúbicos de agua y se agitan durante cuarenta y cinco (45) segundos conforme se vaya adicionando el agua.
 - a7) Se enjuaga cuidadosamente con agua limpia cada uno de los matraces Erlenmeyer que se usaron para la solución de ácido clorhídrico tres normal (3N).
 - a8) En estas condiciones se dejan en reposo todas las muestras y cuando el medidor de tiempo registre treinta (30) minutos se toman de la primera muestra, con la pipeta, cien (100) centímetros cúbicos de solución y se vierten en el matraz Erlenmeyer correspondiente, repitiéndose este proceso en las demás muestras del grupo en forma sucesiva y sin interrupción.
 - a9) Se vierten dos (2) centímetros cúbicos o cuarenta (40) gotas aproximadamente, de la solución indicada de fenolftaleína, en cada uno de los matraces Erlenmeyer que contienen los cien (100) centímetros cúbicos de solución.
 - a10) Se coloca el matraz Erlenmeyer con la primera muestra, debajo de la bureta, previamente montada y que contiene la solución de hidróxido de sodio, se abre la llave de la bureta y se adiciona lentamente dicha solución al matraz, agitando ésta constantemente para que desaparezca el color que toma la muestra al contacto con la solución de hidróxido de sodio; a medida

que el color se vaya haciendo más persistente se disminuirá la velocidad con que se va añadiendo el hidróxido de sodio, hasta que finalmente se esté adicionando gota a gota. Cuando la muestra adquiera un color rojo y perdure éste durante más de un minuto, se suspende la prueba y se lee en la bureta el volumen adicionado, con aproximación de un (1) centímetro cúbico; se anota este valor en la hoja de registro, Figura Núm. 24. Se repite este proceso en las demás muestras de prueba, se anotan los valores correspondientes en la hoja de registro y se determina su promedio.

all) Se obtiene la curva de correlación entre el contenido de cemento en la mezcla, y el volumen de hidróxido de sodio requerido para la titulación; para lo anterior se preparan mezclas de suelo con cero por ciento (0%) y cinco por ciento (5%) de cemento, determinándose a continuación el volumen de hidróxido de sodio requerido para las titulaciones correspondientes, las cuales servirán para trazar la curva de correlación; para lo anterior se procederá como sigue:

all.a). De una muestra del material pétreo obtenida y preparada como se indica en las cláusulas (009-B) y (009-C) de este Capítulo respectivamente, se toman por cuarto diez (10) kilogramos aproximadamente, y se criban por las mallas Núms. 37.5 y 9.5; se separan las fracciones obtenidas y se elimina el retenido en la malla primeramente mencionada.

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE CEMENTO PORTLAND EN MATERIALES ESTABILIZADOS

HOJA NUM. 2 FECHA: 3/1/76
HORA: 10:00
OPERADOR: JESUS SANCHEZ

DATOS DEL PROYECTO			
CARRILERA: TITULANA-ENSENADA	CONTRATISTA:		
TAMPO: TITULANA-EL ROSARIO	LOCALIZACION:	Km 5+400	
AGREGADO: <u>SEDIMENTA-ARENA</u>	CEMENTO:		
GRANES: <u>BLANCO</u>	TIPO: <u>1</u>		
PROCEDIMIENTO DE MEZCLADO:	MEZCLA EN PLANTA ☐	LUGAR ☒	
PROCEDIMIENTO			
DATOS DE PROYECTO	ESPESOR: <u>15</u> cm	CONT DE CEMENTO: <u>4.5</u> %	CONT DE AGUA: <u>16</u> %
NOTAS DE CAMPO			

SELECCION DEL TIPO DE PRUEBA				CURVA DE CORRELACION			
IDENTIFICACION	MATERIAL	MTA No OH NUM	RESULTADOS cm ³	PROCEDENCIA DE LA MUESTRA	NUM	% DE CEMENTO	NUM
A	ARENA DE OTTAWA	1	78	BLANCO 3	1	0	1
B	SUELO SIN CEMENTO	2	84	BLANCO 3	1	5	1
C	PRGM. "A" VALOR MENOR "B"	2	76				
			81				
			76				
			5				

SI C < 6 cm³ SE USA LA PRUEBA ACIDO BASE ☒ Y SE GRAFICA CON NaOH *

SI C > 6 cm³ SE USA PRUEBA NEUT. CONSTANTE ☐ Y SE GRAFICA CON HCl

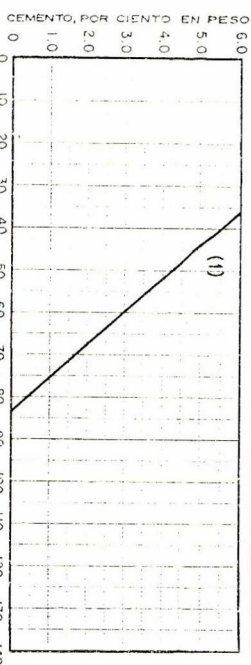


FIGURA NUM. 24 HOJA DE REGISTRO PARA EL METODO DE TITULACION ACIDO BASE

- all.b) De acuerdo con la granulometría representativa del material, se determina el porcentaje de la fracción que se retiene y de la que pasa la malla Núm. 9.5; tomando en cuenta dichos porcentajes, se pesan las cantidades de las fracciones respectivas, necesarias para obtener una muestra de tres (3) kilogramos y se revuelven hasta obtener una mezcla homogénea.
- all.c) Del material preparado como se indica en el sub-subpárrafo all.b) de este subpárrafo, se toman cuatro (4) muestras de prueba cuyos pesos se elegirán de acuerdo con la humedad de prueba, que es aproximadamente la óptima del material, como sigue: de la Tabla Núm. III el peso correspondiente al cero por ciento (0%) de cemento para las dos (2) primeras muestras y de la Tabla Núm. IV el peso que corresponde al cinco por ciento (5%) de cemento, para las dos (2) últimas muestras. En ambos casos, los pesos de los materiales son los necesarios para que las muestras ya preparadas tengan un peso aproximado de trescientos (300) gramos cada una. A continuación se colocan cada una de las muestras de prueba en un recipiente de polietileno con capacidad de dos (2) litros.
- all.d) Se adiciona a cada una de las dos (2) últimas muestras de prueba la cantidad de cemento indicada en la Tabla Núm. IV, y se revuelven separadamente hasta tener mezclas homogéneas.
- all.e) Se mide para cada muestra preparada el

respectivo volumen de agua indicado en las Tablas Núms. III y IV, teniendo en cuenta la humedad de prueba; se vierte el volumen de agua correspondiente a cada muestra en un vaso de precipitado y se coloca cada uno de éstos junto a su muestra respectiva.

- all.f) Se adiciona a cada muestra su volumen de agua y se mezcla intensamente utilizando un agitador para cada una de ellas.
- all.g) Se tapan los recipientes y se dejan en reposo por un lapso que deberá corresponder al tiempo transcurrido desde que la mezcla de agregado-cemento en el campo entra en contacto con el agua, hasta que se tienen sus porciones representativas dispuestas para efectuar el proceso de titulación. Este período de reposo no deberá ser menor de treinta (30) ni mayor de noventa (90) minutos.
- all.h) Se efectúa la titulación de cada muestra de prueba después de concluir el tiempo de reposo, siguiendo el procedimiento indicado en los subpárrafos al) al al0) de esta párrafo y se anotan los resultados promedios en la hoja de registro, Figura Núm. 24.
- all.i) Se traza la curva de correlación fijando en un sistema de ejes coordenados los puntos correspondientes a cada muestra de prueba, tomando como ordenadas el porcentaje de cemento y como abscisas el volumen promedio de hidróxido de sodio en centímetros cúbicos, utilizando para la titulación de cada grupo de dos (2) muestras de igual contenido de cemento; a

TABLA NUM. III

MEZCLAS DE MATERIALES SIN CEMENTO

Humedad de prueba para la mezcla, en por ciento.	Peso del material pétreo seco, en gramos.	Cantidad de agua por agregar, en cen- tímetros cúbicos.
5	286	14
6	283	17
7	280	20
8	277	23
9	275	25
10	273	27
11	270	30
12	268	32
13	266	34
14	263	37
15	261	39
16	259	41
17	256	44
18	254	46
19	252	48
20	250	50
21	247	53
22	245	55
23	243	57
24	240	60
25	238	62

TABLA NUM. 1V
MEZCLAS DE MATERIALES CON CINCO POR CIENTO (5%)
DE CEMENTO EN PESO

Humedad de prueba para la mezcla, en por ciento.	Pesos del material pétreo seco, en gramos.	Cantidad de agua por agregar, en centímetros cúbicos.	Peso del cemento, en gramos.
5	271	15	13.6
6	270	17	13.5
7	267	20	13.5
8	265	22	13.2
9	263	24	13.1
10	260	27	13.0
11	257	30	12.9
12	255	32	12.8
13	252	35	12.6
14	250	37	12.5
15	249	39	12.4
16	247	41	12.3
17	244	44	12.2
18	242	46	12.1
19	240	48	12.0
20	238	50	11.9
21	235	53	11.8
22	233	55	11.7
23	230	58	11.6
24	228	60	11.5
25	227	62	11.4

continuación se dibuja la línea que une los dos (2) puntos mencionados, que en este caso corresponden a cero y cinco por ciento (0 y 5%) de cemento en peso, Figura Núm. 24.

- b) El procedimiento de prueba para el caso de mezclas en las que intervienen materiales pétreos que reaccionan significativamente con el ácido clorhídrico, como se indica en el párrafo (009-X.01.a) de este Capítulo, será el de titulación por neutralización constante, que consiste en efectuar la neutralización continua de iones OH, que se liberan durante la hidratación del cemento existente en la mezcla constituida por dicho producto, material pétreo y agua en exceso. La neutralización mencionada se logra adicionándole a la mezcla solución de ácido clorhídrico en cantidad suficiente, la que será directamente proporcional al contenido de cemento en la mezcla; este contenido finalmente se determina con base en la curva de correlación, debiendo procederse como se indica a continuación:
- b1) Se mide para cada muestra de prueba, preparada como se indica en el inciso (009 X.03) de este Capítulo, un volumen de seiscientos (600) centímetros cúbicos de agua limpia, se vacía en sus respectivos vasos de precipitado de un (1) litro y se colocan cada uno de éstos junto al recipiente de polietileno que contiene la muestra que corresponde.
- b2) Se hace funcionar el medidor de tiempo e inmediatamente se vierten en forma sucesiva y en cada recipiente que contiene una

- (1) muestra de prueba, los seiscientos (600) centímetros cúbicos de agua correspondientes; se agita vigorosamente cada muestra durante quince (15) segundos, usando para ello su respectivo agitador de acero inoxidable.
- b3) Se vierte en cada uno de los recipientes que contienen las muestras saturadas, dos (2) centímetros cúbicos o cuarenta (40) gotas, aproximadamente, de la solución indicadora de fenolftaleína y se agita vigorosamente durante tres (3) segundos. Al efectuar esta operación la solución acusa normalmente tomará un color rojo. Con el fin de facilitar la observación de la suspensión, se procura retirar de la pared del recipiente la espuma que se forma durante el agitado.
- b4) Se pesan cada uno de los recipientes con teniendo las muestras, con una aproximación de cero punto un (0.1) gramo, se registran los valores así obtenidos como pesos iniciales, W_1 , y se dejan en reposo los recipientes hasta que el medidor de tiempo registre diez (10) minutos.
- b5) Se coloca uno de los recipientes que contiene la muestra de prueba debajo de la bureta, previamente montada y que contiene la solución de ácido clorhídrico tres normal (3N), se abre la llave de la bureta y se adiciona lentamente dicha solución al recipiente agitando ésta constantemente y procurando no remover el material sedimentado; al notar la desaparición del color rojo de todo el líquido, se suspende la adición de ácido y se agi

ta vigorosamente toda la muestra durante cinco (5) segundos, se registra la lectura del medidor de tiempo y se deja en reposo el recipiente; usualmente durante este reposo reaparece el color rojo en la solución. Se repite este proceso en forma continuada, en las demás muestras del grupo.

- b6) Si al transcurrir el primer minuto de reposo de las muestras, en alguna de ellas el líquido no ha tomado el color rojo, nuevamente ésta se volverá a agitar vigorosamente durante cinco (5) segundos; y así sucesivamente las muestras que no tengan dicha coloración se agitarán cada minuto durante cinco (5) segundos, hasta que reaparezca el color mencionado y en este momento se dejarán en reposo hasta completar dos (2) minutos.
- b7) Una vez transcurridos los dos (2) minutos de reposo de cada muestra se continúa el procedimiento de adición de ácido, agitado y reposo, según lo indicado en los sup párrafos b5) y b6) de este párrafo, hasta que el medidor de tiempo registre setenta (70) minutos. Durante la adición del ácido clorhídrico deberá tenerse especial cuidado en agregar únicamente la cantidad necesaria para que desaparezca el color rojo.
- b8) Una vez transcurridos los setenta (70) minutos, se pesan los recipientes conteniendo los especímenes con una aproximación de cero punto un (0.1) gramo y se registran los valores obtenidos como pesos finales, W_f .

- b9) Se determina la diferencia entre el peso inicial y el peso final de cada recipiente conteniendo su muestra de prueba y se anota con aproximación de cero punto un (0.1) gramo en la hoja de registro, Figura Núm. 25. Esta diferencia en gramos, es el peso de la solución de ácido clorhídrico utilizada para la titulación de cada muestra; se calcula y anota el promedio de estas determinaciones.
- b10) Se obtiene la curva de correlación entre el contenido de cemento en la mezcla y el peso de la solución de ácido clorhídrico requerido para la titulación, de acuerdo con el siguiente procedimiento:
 - b10.a) De una muestra del material pétreo obtenida y preparada como se indica en las cláusulas (009-B) y (009-C) de este Capítulo, respectivamente, se toman por cuarteo diez (10) kilogramos aproximadamente y se criban por las mallas Núms. 37.5 y 9.5; se separan las fracciones obtenidas y se elimina el retenido en la malla Núm 37.5.
 - b10.b) De acuerdo con la granulometría representativa del material, se determina el porcentaje de la fracción que se retiene y de la que pasa la malla Núm. 9.5; tomando en cuenta dichos porcentajes, se pesan las cantidades de las fracciones respectivas que son necesarias para obtener una muestra de tres (3) kilogramos y se revuelven hasta lograr una mezcla homogénea.
 - b10.c) Del material preparado como se indica en el sub-subpárrafo b10.b) de este subpá

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE CEMENTO PORTLAND EN MATERIALES ESTABILIZADOS

DATOS DEL PROYECTO				CURVA DE CORRELACION			
CARRETERA: MEXICO-NOLALES		CONTRATISTA:					
TRAMO: JIQUILPAN-AGUINALA		LOCALIZACION: km 38 +000					
AGREGADO: GRAN-ARENA		CEMENTO:					
ORIGEN: RIO		TIPO: I					
PROCEDIMIENTO DE MEZCLADO:		MEZCLA EN LUGAR ☒ PLANTA ☐					
PROCED. TENDIDO							
DATOS DE PROYECTO		ESPESOR: 15 cm		CONT. DE CEMENTO: 4.5 %		CONT. DE AGUA: 17 %	
NOTAS DE CAMPO							
SELECCION DEL TIPO DE PRUEBA				CURVA DE CORRELACION			
IDENTIFICACION	MATERIAL	ARENA DE	MTA NaOH NUM. cm³	RESULTADOS	PROCEDENCIA DE LA MUESTRA	% DE CEMENTO	NaOH en cm³
A	OTIWA	1	78	79	BANCO	1	5
B	SUELO SIN CEMENTO	1	69	69		1	61.8
C	PRGM. "A" VALOR MENOR "B"	2	71	10			
SI C < 6 cm³ SE USA LA PRUEBA ACIDO BASE ☐				Y SE GRAFICA CON NaOH			
SI C > 6 cm³ SE USA PRUEBA NEUT. CONSTANTE ☒				Y SE GRAFICA CON HCl *			

FIGURA NUM. 25 HOJA DE REGISTRO PARA EL METODO DE TITULACION POR NEUTRALIZACION CONSTANTE

rrafo, se toma una porción de material con peso aproximado de cincuenta (50) gramos y se coloca en un vaso de precipitado de quinientos (500) centímetros cúbicos de capacidad, se le agregan cien (100) centímetros cúbicos de agua limpia, se mezcla y se adicionan quince (15) gotas aproximadamente, de la solución indicadora de fenolftaleína, y se vuelve a mezclar.

b10.d) Si la solución no toma un color rojo, que es lo más común, la curva de calibración pasará por el origen y para definir la sólo se efectuarán pruebas en dos (2) muestras correspondientes al cinco por ciento (5%) de cemento en peso. Si la solución toma un color rojo, será necesario efectuar pruebas por duplicado, tanto para el cero por ciento (0%) como para el cinco por ciento (5%) de cemento en peso. Estas pruebas se efectúan con muestras de trescientos (300) gramos cada una, preparadas con el material obtenido como se indica en el sub-subpárrafo b10.b) de este subpárrafo, siguiendo el procedimiento indicado en los sub-subpárrafos a11.c) al a11.g), subpárrafo a11), párrafo a) de este inciso y se dejan en reposo de treinta (30) a noventa (90) minutos.

b10.e) Después de cumplir el tiempo de reposo, se aplica la prueba de titulación por neutralización constante a cada una de las muestras de prueba, siguiendo el procedimiento indicado en los subpárrafos b1) al b9) de este párrafo.

b10.f) Se traza la curva de calibración, dibujando en un sistema de ejes coordenados el punto correspondiente a cada muestra de prueba, tomando como ordenadas los porcentajes de cemento en peso, que en este caso son cero por ciento (0%) y cinco por ciento (5%), respectivamente, y como abscisas el peso promedio en gramos de la solución de ácido clorhídrico utilizado para la neutralización en las muestras antes citadas; a continuación, se dibuja la línea recta que une los puntos antes mencionados. En el caso de que no se hayan efectuado pruebas para el cero por ciento (0%) de cemento, se sitúa solamente el punto correspondiente al cinco por ciento (5%) y se dibuja la línea que une este punto y el origen de los ejes coordenados, Figura Núm. 25.

009-X.05 En esta prueba se calcula el por ciento de cemento contenido en cada muestra, obteniéndolo de la respectiva curva de correlación, a partir de los volúmenes de solución de hidróxido de sodio registrados según lo indicado en el subpárrafo a10), párrafo (009-X.04.a) de este Capítulo, para el caso de titulación ácido base y de los pesos de solución de ácido clorhídrico, registrados según lo indicado en el subpárrafo b9), párrafo (009-X.04.b), para el caso de titulación por neutralización constante. Se reporta como contenido de cemento de cada muestra original del material estabilizado el promedio de los porcentajes obtenidos en cada una de las determinaciones efectuadas a la misma y se expresa con respecto al peso del material pétreo seco, aproximando a cero punto cinco (0.5) el valor que se obtenga.

009-X.06 Al efectuar esta prueba deberán tenerse las

siguientes precauciones:

- a) Proteger debidamente al personal cuando maneje las soluciones de ácido clorhídrico e hidróxido de sodio, evitando el contacto directo con las soluciones, y cuando a pesar de estas precauciones no se pueda evitar el contacto con la ropa o con la piel, se lavará la parte contaminada utilizando agua en abundancia.
- b) Conservar siempre los ácidos y soluciones en recipientes de plástico apropiados e identificados perfectamente.
- c) Lavar perfectamente con agua el equipo al terminar su uso, poniendo especial atención en el lavado de la bureta.
- d) Limpiar con una franela de color rojo, completamente húmeda, las sustancias que se hayan derramado; el cambio de color de la frananela detectará la presencia de ácidos y en este caso se limpiarán con el cuidado debido.

CAPITULO 6.01.03.010

MATERIALES PETREOS PARA CARPETAS Y MEZCLAS ASFALTICAS

010-A CONTENIDO

010-A.01 En este Capítulo se tratan lo referente al muestreo, preparación de las muestras y la descripción de las pruebas de laboratorio que es necesario efectuar a los materiales pétreos que se emplean en la elaboración de carpetas y mezclas asfálticas, para conocer su calidad, controlar sus características durante la construcción y prever su probable comportamiento en la obra. Los requisitos de calidad de los materiales citados en esta Cláusula, se establecen en el Capítulo (010) del Libro 4, de estas Normas.

010-B MUESTREO

010-B.01 Para llevar a cabo el muestreo deberá tomarse en cuenta lo indicado en la cláusula (009-B) de este Libro 6.

010-B.02 El equipo y materiales que generalmente se requieren son los que se citan en el inciso (6.01.01.002-B.03) de este Libro 6, debiendo disponerse en algunas ocasiones de marros, máquina perforadora y explosivos.

010-B.03 Los procedimientos para llevar a cabo el muestreo, dependiendo de las condiciones del material, serán los siguientes:

- a) En el caso de zonas probables de explotación y de bancos, se tomará en cuenta lo descrito en el párrafo (009-B.03.a), cláusula (009-B) de este Libro 6.
- b) Los procedimientos de muestreo en caso de plantas de producción o de tratamiento serán los que se indican en el párrafo (009-B.

- 03.b), cláusula (009-B) de este Libro 6.
- c) El muestreo de almacenamientos deberá hacer se siguiendo lo indicado en el párrafo (009 B.03.c), cláusula (009-B), de este Libro 6.
- d) Para el muestreo de materiales en el lugar de utilización se tomará en cuenta lo indicado en el párrafo (009-B.03.d), cláusula (009-B), de este Libro 6, excepto que cuando se trate de material acamellonado se tomará una muestra de cada cien (100) metros cúbicos, para lo cual se corta transversalmente el camellón, dejando las paredes con su ángulo de reposo y de uno de los lados de la sección abierta se toma un pequeño tramo del camellón, de cuarenta (40) centímetros de longitud aproximadamente, depositando el material obtenido en una superficie adecuada, en donde por cuarteos sucesivos se obtiene de dicho material una muestra de cincuenta (50) kilogramos, aproximadamente.
- e) El envase, identificación y transporte de las muestras se efectuará como se indica en los párrafos (6.01.01.002-B.03.e) al (6.01.01.002-B.03.g), de este Libro 6.

010-C PREPARACION DE LA MUESTRA

010-C.01 La preparación de la muestra en materiales pétreos para carpetas y mezclas asfálticas se efectuará tomando en cuenta lo indicado en la cláusula (009-C), de este Libro 6.

010-D DETERMINACION DE LA HUMEDAD O CONTENIDO DE AGUA

010-D.01 La determinación de la humedad o contenido de agua en materiales pétreos para carpetas y mezclas as

fálticas, se efectuará como se indica en la cláusula (6.01.01.002-E), de este Libro 6.

010-E CORRECCION A LA HUMEDAD O CONTENIDO DE AGUA
DETERMINADO CON LA PRUEBA RAPIDA

010-E.01 La corrección al contenido de agua determinado con la prueba rápida, en los materiales a que se refiere este Capítulo, se efectuará de acuerdo con el procedimiento descrito en la cláusula (6.01.01.002-F), de este Libro 6.

010-F DETERMINACION DE LOS PESOS ESPECIFICOS RELATIVOS APARENTES Y DE LA ABSORCION

010-F.01 La determinación de los pesos específicos relativos aparentes y de la absorción de los materiales a que se refiere este Capítulo, se efectuará de acuerdo con lo indicado en la cláusula (6.01.01.002-G), pudiendo efectuarse también la determinación de dicho peso específico por el método de inmersión en cemento asfáltico fluidificado que se describe en el inciso (010-F.02) de este Capítulo.

010-F.02 La determinación del peso específico relativo aparente por inmersión del material pétreo en cemento asfáltico fluidificado, se aplica a los materiales que se utilizan en la elaboración de mezclas asfálticas en caliente, principalmente cuando tienen absorción igual o mayor de dos punto cinco por ciento (2.5%) y se efectúa tanto en la fracción retenida en la malla Núm. 4.75, como en la que pasa dicha malla o bien, en la combinación de ambas fracciones; esta prueba no deberá hacerse en materiales finos que pasan totalmente la malla Núm. 0.150. La principal aplicación de los resultados obtenidos con esta determinación es en el cálculo del porcentaje de vacíos de mezclas asfálticas compactadas.

- a) El equipo necesario para efectuar la prueba es el siguiente:

Horno con temperatura controlable de cin

cuenta a doscientos grados centígrados (50 a 200°C) y aproximación de más menos dos grados centígrados ($\pm 2^{\circ}\text{C}$).

Placa de calentamiento eléctrica con capacidad hasta de doscientos grados centígrados (200°C), con temperatura regulable.

Mechero de gas.

Balanza de cinco (5) kilogramos de capacidad con aproximación de cero punto un (0.1) gramo, equipada con un dispositivo para determinar pesos sumergidos.

Termómetros de inmersión con capacidad de cero a ciento cincuenta grados centígrados (0 a 150°C) y aproximación de un grado centígrado (1°C).

Recipiente metálico provisto de asas, con capacidad de ocho (8) litros, aproximadamente.

Cubetas o recipientes metálicos con asa, de cuatro (4) litros de capacidad, aproximadamente.

Tina o recipiente con dimensiones adecuadas, para sumergir uno de los recipientes de cuatro (4) litros.

Charolas metálicas redondas.

Varillas metálicas con diámetro de seis (6) milímetros y longitud de treinta (30) centímetros, aproximadamente.

b) La preparación de la muestra se llevará a cabo en la forma siguiente:

b1) Siguiendo los procedimientos mencionados en las cláusulas (010-B) y (010-C) de este Capítulo, y en caso necesario, criban

do además el material pétreo por la malla Núm. 4.75, se obtienen dos muestras de mil (1000) gramos cada una, de la fracción que pasa dicha malla, si es esta porción la que se requiere ensayar o bien, de mil quinientos (1500) gramos cada una si se trata de la fracción retenida en la citada malla o de un material con su granulometría completa.

- b2) Se obtiene una muestra de cemento asfáltico de acuerdo con los procedimientos descritos en la cláusula (011-B), de este Libro 6, se le aplica calor para fluidificarla y se vierten seis (6) kilogramos, aproximadamente, en el recipiente de ocho (8) litros de capacidad.
- c) La prueba se efectúa en la forma siguiente:
 - c1) Se coloca una de las muestras de material pétreo en una charola, se introduce en el horno y se seca hasta peso constante, a una temperatura de ciento cinco más menos cinco grados centígrados ($105 \pm 5^{\circ}\text{C}$); a continuación se saca del horno, se deja enfriar a la temperatura ambiente y se determina el peso del material pétreo, con aproximación de cero punto un (0.1) gramo, designando este peso como W_p .
 - c2) Se calienta el cemento asfáltico contenido en el recipiente de ocho (8) litros, a una temperatura de ciento treinta y ocho más menos tres grados centígrados ($138 \pm 3^{\circ}\text{C}$) y se vierte la cantidad necesaria en el recipiente de cuatro (4) litros para ocupar la tercera parte del volumen de éste, aproximadamente.

- c3) Se introduce la varilla metálica al recipiente últimamente citado, se remueve o agita con ésta el cemento asfáltico durante un (1) minuto y se deja enfriar el conjunto hasta obtener una temperatura de veintidós más menos un grado centígrado ($22 \pm 1^{\circ}\text{C}$).
- c4) Se determina el peso del recipiente conteniendo el asfalto y la varilla, sumergidos en agua, y se registra dicho peso como W'_a , con aproximación de cero punto un (0.1) gramo, debiendo estar tanto el asfalto como el agua, a una temperatura de veintidós más menos un grado centígrado ($22 \pm 1^{\circ}\text{C}$), Figura Núm. 26.
- c5) Se vacía el agua del recipiente que contiene el cemento asfáltico y la varilla, dejándola escurrir para eliminarla hasta donde sea posible.
- c6) Se coloca en la placa de calentamiento el recipiente que contiene el asfalto y la varilla, y se introduce en el horno la muestra de material pétreo, dejando ambos materiales el tiempo suficiente para que su temperatura sea de ciento treinta y ocho más menos tres grados centígrados ($138 \pm 3^{\circ}\text{C}$).
- c7) Se extrae del horno la charola con la muestra de material pétreo, se vacía éste al recipiente que contiene el asfalto y la varilla, y se mezclan en forma continua los materiales mencionados, durante dos (2) minutos.
- c8) Se deja enfriar la mezcla hasta obtener la temperatura de veintidós más menos un

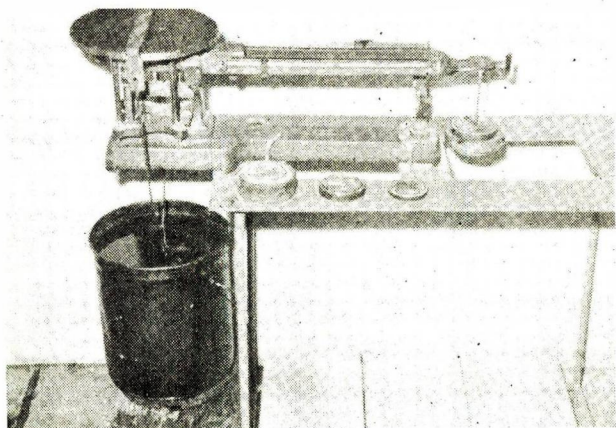


Figura Núm. 26. Determinación del peso sumergido.

grado centígrado ($22 \pm 1^{\circ}\text{C}$) y si en este período de enfriamiento se notan burbujas de aire en la superficie, se pasa una flama sobre ésta para eliminarlas.

- c9) Inmediatamente después se obtiene el peso del recipiente conteniendo el asfalto, varilla y material pétreo, sumergidos en agua y se registra este peso como W'_{ap} , con aproximación de cero punto un (0.1) gramo; esta operación debe efectuarse estando el agua y la mezcla de asfalto y material pétreo, a veintidós más menos un grado centígrado ($22 \pm 1^{\circ}\text{C}$).
- c10) Se repite en la otra muestra de material pétreo el procedimiento descrito en los subpárrafos c1) a c9) de este párrafo.
- d) En esta prueba se calcula el peso específico relativo aparente o densidad aparente de cada una de las muestras de material pétreo,

aplicando la fórmula siguiente:

$$S_p = \frac{W_p}{W_p - (W'_{ap} - W'_a)}$$

En donde:

S_p es el peso específico relativo aparente o densidad aparente del material pétreo, sumergido en cemento asfáltico fluidificado.

W_p es el peso del material pétreo seco, en gramos.

W'_{ap} es el peso del recipiente con el asfalto, la varilla y el material pétreo, sumergidos en agua, en gramos.

W'_a es el peso del recipiente conteniendo el asfalto y la varilla sumergidos en agua, en gramos.

Se reporta el promedio de los valores obtenidos en las dos pruebas efectuadas, siempre que su diferencia no sea mayor de cero punto cero cuatro (0.04). En caso contrario, se repite el procedimiento en otras dos muestras y de no obtenerse valores dentro de la tolerancia señalada, se promedian los cuatro (4) resultados y se reporta dicho promedio como peso específico relativo aparente del material, sumergido en cemento asfáltico fluidificado.

e) En esta prueba deberán tenerse las siguientes precauciones:

e1) Eliminar hasta donde sea posible las burbujas que se forman en el asfalto durante su agitado.

e2) Evitar la pérdida del cemento asfáltico

que se adhiera al termómetro, cuando se mide la temperatura.

010-F.03 En este inciso se describe la determinación del peso específico relativo aparente o densidad aparente del material que constituye una mezcla formada por otros materiales de diferente naturaleza, o granulometría y se lleva a cabo aplicando a cada una de éstas, el procedimiento que corresponda de los indicados en el inciso (010-F.01) de este Capítulo, según el uso que se dé a la mezcla, debiendo utilizarse procedimientos del mismo tipo. Utilizando los pesos específicos relativos aparentes y los porcentajes en que intervienen cada uno de los materiales, se calcula el peso específico relativo aparente del material que constituye la mezcla, por medio de la siguiente fórmula:

$$S_{prom.} = \frac{100}{\frac{P_1}{S_1} + \frac{P_2}{S_2} + \dots + \frac{P_n}{S_n}}$$

En donde:

$S_{prom.}$ es el peso específico relativo aparente del material pétreo de la mezcla, número abstracto.

P_1 es el por ciento en peso del material Núm. 1, con relación al total de la mezcla.

S_1 es el peso específico relativo aparente del material Núm. 1.

P_2 es el por ciento en peso del material Núm. 2, con relación al total de la mezcla.

S_2 es el peso específico relativo aparente del material Núm. 2.

P_n es el por ciento en peso del mate

rial n , con relación al total de la mezcla.

S_n es el peso específico relativo aparente del material n .

010-G DETERMINACION DE LOS PESOS ESPECIFICOS O PESOS VOLUMETRICOS

010-G.01 En los materiales pétreos para carpetas y mezclas asfálticas, se hará la determinación del peso específico o volumétrico tomando en cuenta lo indicado en la cláusula (009-L) de este Libro 6, excepto lo que corresponde al inciso (009-L.08), referente a peso específico en el lugar, que en este caso no se efectúa.

010-H DETERMINACION DE LOS COEFICIENTES DE VARIACION VOLUMETRICA

010-H.01 La determinación de los coeficientes de variación volumétrica se llevará a cabo como se indica en la cláusula (6.01.01.002-M) de este Libro 6, excepto que para la determinación de los pesos específicos se tomará en cuenta lo indicado en la cláusula (010-G).

010-I DETERMINACION DE LA COMPOSICION GRANULOMETRICA

010-I.01 Para la determinación de la composición granulométrica de los materiales a que se refiere este Capítulo, se tomará en cuenta lo indicado en la cláusula (009-G), debiendo utilizarse las mallas que para cada caso se requieran, de acuerdo con los requisitos señalados en el Capítulo (010) del Libro 4. de estas Normas.

010-J DETERMINACION DE LOS LIMITES DE PLASTICIDAD Y DE LA CONTRACCION LINEAL

010-J.01 La determinación de los límites de plasticidad y de la contracción lineal, se efectuará tomando en cuenta lo indicado en la cláusula (009-H), de este Libro 6.

010-K DETERMINACION DEL EQUIVALENTE DE ARENA

010-K.01 La determinación del equivalente de arena se llevará a cabo como se describe en la cláusula (009-I),

de este Libro 6.

010-L PRUEBAS DE AFINIDAD ENTRE EL MATERIAL PÉTREO Y EL ASFALTO

010-L.01 Con estas pruebas se determinan algunas propiedades relativas a la afinidad entre las partículas del material pétreo y la película de asfalto que las cubre, para conocer si entre dichos materiales existe una liga que permita condiciones de estabilidad satisfactorias. La determinación de la afinidad del material pétreo es muy importante para juzgar el comportamiento de las capas asfálticas de un pavimento.

- a) Las características de afinidad del material pétreo con el asfalto se determinan mediante las pruebas de desprendimiento por fricción, cubrimiento con asfalto, desprendimiento de la película, y pérdida de estabilidad por inmersión en agua, que se describen más adelante. La aplicación de estas pruebas dependerá del uso a que se destine el material pétreo y, por lo tanto, las muestras de prueba representarán en lo posible las condiciones de dicho material al ser utilizado en la obra.
- b) Si los resultados obtenidos en las pruebas de afinidad no son satisfactorios, se podrán mejorar las características de adhesividad entre el agregado pétreo y el asfalto, mediante trituration del material pétreo, cambio de producto asfáltico, lavado de los agregados, y empleo de aditivos, hasta lograr con cualquiera de estos procedimientos o combinación de ellos, resultados satisfactorios.

010-L.02 En este inciso se describe la prueba de desprendimiento por fricción que se efectúa a materiales pétreos y aglutinantes asfálticos utilizados en la construcción de capas de pavimento o bien a materiales pé

treos sobre los que se aplican tratamientos asfálticos. Esta prueba tiene por objeto estimar la afinidad a través de la adherencia que se presenta en la interfase material pétreo-asfalto.

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

Dispositivo mecánico para realizar el agitado de las mezclas de prueba, consistente en una barra giratoria portafrascos, en la cual éstos se encuentran sujetos de dos (2) en dos (2) a cada lado y perpendicularmente a dicha barra, la que está apoyada en soportes de baleros y accionada por un motor eléctrico provisto de un reductor de velocidad, para que los frascos giren a razón de cuarenta y cinco a cincuenta (45 a 50) revoluciones por minuto, Figura Núm. 27.

Frascos de vidrio de quinientos (500) centímetros cúbicos de capacidad, de seis punto cinco (6.5) centímetros de diámetro y dieciséis (16) centímetros de altura aproximadamente, de boca ancha y tapa hermética.

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

Horno con termostato que mantenga una temperatura de veinte a ciento cincuenta grados centígrados (20 a 150°C) con aproximación de más menos dos grados centígrados ($\pm 2^{\circ}\text{C}$)

Placa eléctrica de calentamiento con capacidad hasta de doscientos grados centígrados (200°C) y control de temperatura.

Termómetro graduado de cero a ciento cincuenta grados centígrados (0 a 150°C), con aproximación de un grado centígrado (1°C).

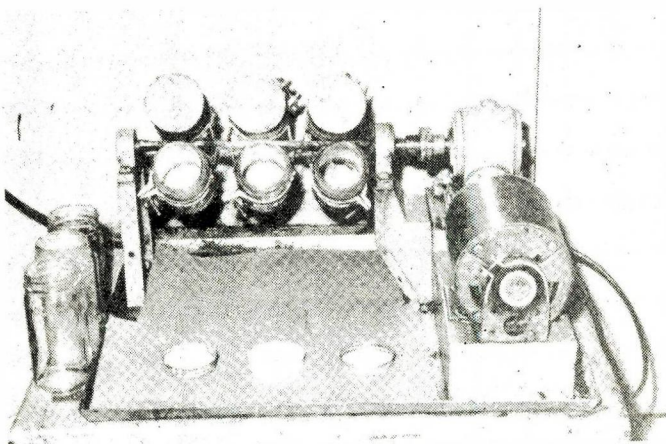


Figura Núm. 27. Aparato de agitación para mezclas de prueba.

Mallas de las siguientes designaciones:
Núms. 12.5, 6.3, 2.0 y 0.425.

Baño de agua con temperatura controlable de veinte a cincuenta grados centígrados (20 a 50°C) y aproximación de más menos dos grados centígrados ($\pm 2^{\circ}\text{C}$).

Charolas de lámina.

Cuchara de albañil chica.

Lupa de cuatro a cinco (4 a 5) aumentos, con diámetro aproximado de sesenta y cinco (65) milímetros.

Agua destilada o potable.

- b) La preparación de la muestra se efectuará de acuerdo con lo que se indica a continuación:
 - b1) De una muestra de material pétreo obtenida y preparada como se indica en las cláusulas (010-B) y (010-C) de este Capítulo,

se toma por cuarteo una porción de tres (3) kilogramos, aproximadamente.

- b2) A continuación se criba dicha porción por las mallas Núms. 12.5, 6.3, 2.0 y 0.425 para obtener las fracciones que quedan comprendidas entre dichas mallas y la que pasa la malla Núm. 0.425. La fracción que retiene la malla Núm. 12.5 se elimina.
- b3) De acuerdo con la parte correspondiente de la granulometría de proyecto, se calculan las cantidades necesarias de material pétreo para formar una (1) muestra con peso aproximado de quinientos (500) gramos.
- b4) De las fracciones separadas como se indicó en el subpárrafo b2) de este párrafo, se pesan en una charola las cantidades calculadas para formar dos (2) muestras, las cuales se mezclan por separado. Cuando la prueba se efectúe con cemento asfáltico, sólo se formará una muestra de material pétreo.
- b5) Cuando los agregados vayan a utilizarse con cemento asfáltico, se calienta en el horno la muestra de material pétreo a una temperatura de ciento treinta y cinco más menos cinco grados centígrados ($135 \pm 5^{\circ}\text{C}$).
- b6) Si la prueba se va a efectuar con asfalto rebajado o con una emulsión asfáltica, se sumerge una (1) de las dos (2) muestras en un vaso de aluminio que contenga agua a la temperatura ambiente y se deja saturar durante dieciséis a veinte (16 a 20) horas; al finalizar este período, se eleva la temperatura del agua a cuarenta gra

dos centígrados (40°C) y se mantiene esta temperatura durante una (1) hora. A continuación se vacía la muestra en una charola, se decanta el agua y se oreo moviendo la periódicamente, hasta que presente un color opaco, estando húmeda, considerando que en estas condiciones el material contiene aproximadamente su humedad de absorción. La otra muestra de material pétreo, que no se sujeta a saturación, se calentará a cuarenta grados centígrados (40°C) cuando la mezcla se elabore con asfaltos rebajados y no se calentará cuando se utilicen emulsiones.

b7) Se prepara una muestra de producto asfáltico del tipo que pretenda usarse en la obra con peso aproximado de doscientos (200) gramos y se calienta a la temperatura recomendable de aplicación indicada en el inciso (3.01.03.076-F.08) del Libro 3 de estas Normas; si se trata de emulsiones asfálticas, no deberá calentarse. Los cementos asfálticos mezclados con aditivos, se mantendrán durante cuarenta y ocho (48) horas a la temperatura de aplicación.

c) La prueba se efectúa en la forma siguiente:

c1) Inmediatamente después de preparados los materiales y tratándose de mezclas asfálticas, se agrega a cada una de las dos (2) muestras, la cantidad de material asfáltico correspondiente al porcentaje de proyecto, Figura Núm. 28; en el caso de que no se conozca el porcentaje de proyecto para las mezclas o se trate de materiales pétreos sobre los que se aplicarán



Figura Núm. 28. Adición del producto asfáltico al material pétreo.

tratamientos asfálticos, se agregará a dichas muestras la cantidad de material asfáltico correspondiente al contenido mínimo determinado de acuerdo con el procedimiento descrito en el inciso (012-C.03) de este Libro 6, más el uno por ciento (1%). Si los materiales pétreos por ensayar se van a emplear en la construcción de carpetas por el sistema de riegos o para riegos de sello, se les agregará a las muestras correspondientes una cantidad de material asfáltico suficiente para lograr con facilidad el cubrimiento de las partículas, sin que haya exceso de asfalto.

- c2) A continuación se mezclan con la cuchara de albañil las muestras preparadas, hasta lograr un cubrimiento completo y uni-

forme de las partículas con el asfalto; si después de aproximadamente diez (10) minutos de mezclado no se logra el cubrimiento, se verifica la temperatura y en su caso, se calienta cada una de las mezclas a cuarenta grados centígrados (40°C) aproximadamente, siempre que se usen asfaltos rebajados o bien, a ciento veinte grados centígrados (120°C) cuando se utilizan cementos asfálticos; se continúa el mezclado a dichas temperaturas hasta que se observe que ya no se mejora el cubrimiento obtenido. Las mezclas elaboradas con emulsión así como las de los agregados que contienen la humedad de absorción, no deberán calentarse ni remezclarse.

c3) Se colocan las mezclas dentro del horno y se dejan en éste durante quince (15) horas aproximadamente, a una temperatura de sesenta grados centígrados (60°C), cuando se utilicen asfaltos rebajados o emulsiones asfálticas que contienen solventes, o bien, a ciento treinta y cinco grados centígrados (135°C) durante dos (2) horas si se trata de emulsiones prácticamente sin solventes, eliminando en este caso el agua libre mediante decantación. Cuando las mezclas se hayan elaborado con cemento asfáltico no se introducen en el horno, y únicamente se dejan enfriar a la temperatura ambiente durante dos (2) horas.

c4) Al terminarse el proceso de curado de las muestras en el horno, se sacan de él e inmediatamente se remezclan cada una de ellas en su charola respectiva, durante dos (2) minutos aproximadamente, después

de lo cual se dejan enfriar a la temperatura ambiente por un lapso de dos (2) horas como mínimo.

- c5) Se seleccionan de cada una de las mezclas, en forma manual, dos porciones de cincuenta (50) gramos aproximadamente, constituida la primera por material de tamaños comprendidos entre cinco y diez (5 a 10) milímetros y la segunda por partículas con tamaño inferior a cinco (5) milímetros.
- c6) Se colocan en los frascos de vidrio cada una de las porciones seleccionadas, se agregan doscientos (200) centímetros cúbicos del agua destilada o potable a cada frasco y se tapan herméticamente.
- c7) Se sumergen los frascos, con su contenido, en el baño de agua a veinticinco grados centígrados (25°C), se dejan en éste durante un lapso de dieciséis a veinte (16 a 20) horas y se observa el desprendimiento ocurrido.
- c8) Se sacan los frascos del baño, se instalan en la máquina de agitación y se someten a cuatro (4) períodos consecutivos de agitación de quince (15) minutos cada uno; en caso de que no se disponga de este aparato, el agitado se hará manualmente durante tres (3) períodos de cinco (5) minutos cada uno, efectuándose este proceso con los brazos al frente y flexionados, moviendo los frascos hacia los lados del operador en un espacio de cincuenta (50) centímetros, a razón de sesenta (60) ciclos por minuto; se entiende por ciclo un movimiento completo del frasco, de ida y regreso, Figura Núm. 29.



Figura Núm. 29. Agitación manual de la mezcla.

- c9) Al concluirse el último período de agitación se retiran los frascos del aparato, se destapan y se escurre el agua que contienen; se vacía cada muestra sobre una hoja de papel blanco y se acomodan éstas sobre una mesa de trabajo, suficientemente iluminada para observar y estimar con la ayuda de la lupa, el porcentaje de superficie de las partículas en que haya ocurrido desprendimiento de asfalto.
- d) Se registra el por ciento de desprendimiento estimado en cada una de las dos (2) fracciones de cada muestra ensayada y se repor

ta el mayor valor obtenido, tanto para condiciones húmedas como para condiciones secas. Si el desprendimiento ocurrido es mayor de un veinticinco por ciento (25%), se considera que el material no cumple el requisito de afinidad con el asfalto indicado en las Normas de la Secretaría. En este caso podrá estudiarse el incremento de la adherencia del asfalto en la mezcla, mediante los procedimientos indicados en el párrafo (010-L.01.b) de este Capítulo.

e) Las causas más frecuentes de error en esta prueba son las siguientes:

- e1) Que durante la elaboración de las mezclas de prueba haya pérdidas de material asfáltico.
- e2) Que al elaborar la mezcla el cubrimiento de las partículas no sea lo más completo posible.
- e3) Que cuando el agitado de las muestras se haga manualmente, éste se efectúe en forma inadecuada.
- e4) Que se utilice en la prueba un material asfáltico cuyas propiedades hayan sido alteradas o no correspondan al producto que se vaya a emplear en la obra.

010-L.03 En este inciso se describe la prueba de cubrimiento con asfalto basada en el método inglés, que tiene por objeto determinar la facilidad con que la película de un producto asfáltico rebajado se adhiere a un agregado pétreo en presencia del agua. Los resultados de esta prueba son estimativos y sirven para juzgar la susceptibilidad al desprendimiento del material pétreo producido por el agua, principalmente en carpetas de riegos, riegos de sello y riegos de impregnación, cuan

do es deficiente la afinidad entre el material pétreo y el asfalto, aplicándose también para evaluar la efectividad de los aditivos, en el caso de que éstos se utilicen.

a) El equipo de prueba es el siguiente:

Mallas Núms. 12.5 y 9.5.

Charolas de estaño o metal inoxidable, con dimensiones interiores de ciento treinta (130) milímetros de diámetro y quince (15) milímetros de altura.

Termómetro con graduación de cero a ciento cincuenta grados centígrados (0 a 150°C) y aproximación de un grado centígrado (1°C).

Baño de agua con temperatura controlable de veinte a ciento cincuenta grados centígrados (20 a 150°C) y aproximación de más menos dos grados centígrados ($\pm 2^\circ\text{C}$).

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

Balanza de doscientos (200) gramos de capacidad y cero punto cero un (0.01) gramo de aproximación.

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

Espátula de acero, rígida, de dos punto cinco (2.5) centímetros de ancho y diez punto cero (10.0) centímetros de longitud.

b) La prueba se efectúa en la forma siguiente:

b1) De una muestra de material pétreo preparada como se indica en la cláusula (010-C) de este Capítulo, se obtiene por cuarteo una porción de un (1) kilogramo, aproximadamente, de la cual se separa mediante

cribado la fracción de material pétreo que pasa la malla Núm. 12.5 y que se retiene en la malla Núm. 9.5.

- b2) De la fracción de material pétreo obtenida mediante cribado, se toman cuando menos seis (6) partículas representativas.
- b3) Se calienta el baño de agua a la temperatura que represente las condiciones de aplicación del producto asfáltico en la obra; cuando se trata de estudiar la efectividad de diferentes aditivos, la temperatura del baño debe ser de veinte grados centígrados (20°C).
- b4) Se prepara en un vaso de aluminio una muestra de producto asfáltico de doscientos (200) gramos, aproximadamente, sometiéndola a un ligero calentamiento para hacerla manejable.
- b5) Se vierten y se distribuyen en el fondo de la charola, de quince a veinte (15 a 20) gramos de producto asfáltico, para formar una película de aglutinante de uno punto cinco (1.5) milímetros de espesor.
- b6) Se sumerge la charola con el asfalto en el baño, de manera que tenga un tirante de agua de veinticinco (25) milímetros aproximadamente, sobre el nivel de la película de asfalto y se deja en estas condiciones hasta que adquiera la temperatura del baño.
- b7) Se colocan en la charola, con la mano, Figura Núm. 30, las partículas de material pétreo presionándolas ligera y uniformemente al apoyarlas sobre la película de asfalto y se dejan en estas condiciones



Figura Núm. 30. Colocación de los agregados en la charola, sumergida en el baño.

durante un lapso de diez (10) minutos.

- b8) A continuación se saca la charola del baño de agua, se toman con la mano las partículas de material pétreo y se colocan cuidadosamente sobre una hoja de papel blanco o en una cápsula de cristal, como las indicadas en la Figura Núm. 30, de tal manera que se pueda observar la superficie de las partículas que haya estado en contacto con el asfalto.
- b9) Se estima visualmente el porcentaje de la superficie del material pétreo cubierta con asfalto, en relación con la superficie total de las partículas que se considera haya estado sumergida en la película de asfalto; este porcentaje será el de cubrimiento.
- c) En esta prueba se reporta el porcentaje de

cubrimiento observado en las partículas; si dicho cubrimiento está comprendido entre noventa y cien por ciento (90 - 100%), se considera que el material cumple el requisito que señalan las Normas de la Secretaría, en cuanto a afinidad con el asfalto. En caso de tener un cubrimiento inferior a noventa por ciento (90%), se considera que el material no cumple el requisito de afinidad en las condiciones de humedad mencionadas y en este caso se puede estudiar la conveniencia de mejorar la adherencia mediante alguno de los procedimientos indicados en el inciso (010-L.01) de este Capítulo.

d) Al efectuar esta prueba se tendrán en cuenta las siguientes precauciones:

- d1) Que el fondo de la charola esté exento de abolladuras o irregularidades.
- d2) Que la charola esté en posición horizontal y que la película de producto asfáltico tenga un espesor uniforme.
- d3) Que no se modifique el área de las partículas originalmente cubiertas con el asfalto, al sacarlas de la charola para colocarlas sobre el papel o en la cápsula de vidrio.

010-L.04 En este inciso se describe la prueba de desprendimiento de la película, que tiene por objeto determinar estimativamente el desprendimiento del asfalto en el agregado pétreo, cuando la mezcla de prueba es sometida a un proceso de agitación en agua; se aplica a materiales pétreos que se utilizan en la elaboración de mezclas asfálticas para guarniciones y bordillos, así también en materiales para sub-bases de pavimento rígido y bases de pavimento flexible, que se impregnan o se

estabilizan con materiales asfálticos, capas que en general no se exponen directamente al tránsito en forma permanente.

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

Mallas Núms. 9.5, 4.75 y 2.36.

Horno con termostato que mantenga una temperatura de veinte a ciento cincuenta grados centígrados (20 a 150°C) y con aproximación de más menos dos grados centígrados ($\pm 2^\circ\text{C}$).

Placa eléctrica de calentamiento con capacidad hasta de doscientos grados centígrados (200°C) y control de temperatura.

Termómetro con graduación de cero a ciento cincuenta grados centígrados (0 a 150°C) y aproximación de un grado centígrado (1°C).

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

Máquina para realizar el agitado de las mezclas de prueba, consistente en un cilindro metálico hueco de treinta y siete (37) centímetros de diámetro y siete (7) centímetros de altura; tiene en la parte interior de la superficie cilíndrica las bases para apoyo de los frascos, las cuales están alineadas en cada uno de los extremos de dos diámetros perpendiculares. El cilindro gira sobre su eje, que está colocado horizontalmente sobre un soporte metálico, accionado por un motor eléctrico provisto de un reductor para que gire a la velocidad de cuarenta y cinco a cincuenta (45 a 50) revoluciones por minuto, Figura Núm. 31.

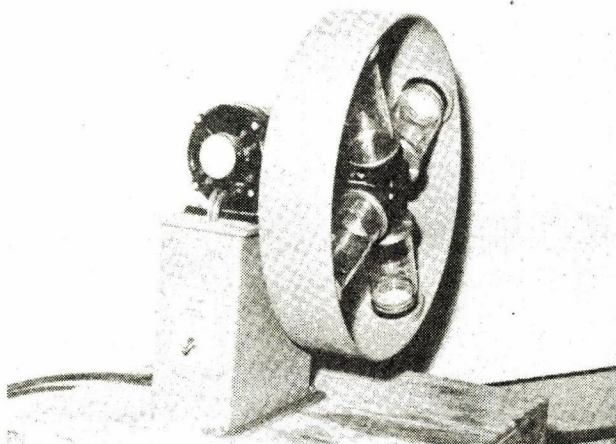


Figura Núm. 31. Máquina de agitación para la prueba de desprendimiento de la película.

Frascos de vidrio de forma cilíndrica, con capacidad de doscientos veinticinco (225) centímetros cúbicos, de cinco (5) centímetros de diámetro y trece (13) centímetros de altura aproximadamente, de boca ancha y provisto de tapa hermética.

Charolas metálicas rectangulares.

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

Espátula rígida de acero, de dos punto cinco (2.5) centímetros de ancho y diez (10) centímetros de longitud.

Agua destilada o potable.

b) La preparación de las muestras se efectuará de acuerdo con lo que se indica a continuación:

b1) De una muestra de material pétreo obteni

da y preparada como se indica en las cláusulas (010-B) y (010-C) de este Capítulo, respectivamente, se toma por cuarteo una porción de tres (3) kilogramos, aproximadamente.

- b2) De dicha porción se separa la fracción del material que pasa la malla Núm. 9.5 y que se retiene en la malla Núm. 4.75, así como la fracción que pasa la malla Núm. 4.75 y se retiene en la Núm. 2.36; se elimina el material que pasa la malla últimamente citada y también el retenido en la malla Núm. 9.5, si lo hay.
- b3) De acuerdo con la parte correspondiente a la granulometría de proyecto se determinan las cantidades necesarias de las fracciones obtenidas como se indicó en el subpárrafo b2) de este párrafo, para integrar las muestras de prueba de sesenta (60) gramos, que sean necesarias.
- b4) Si va a utilizarse cemento asfáltico en la prueba, se pesa en una charola la cantidad indicada de material pétreo para la muestra de prueba correspondiente y se calienta en el horno a una temperatura de ciento treinta y cinco más menos cinco grados centígrados ($135 \pm 5^{\circ}\text{C}$).
- b5) Si en la prueba se va a utilizar asfalto rebajado o emulsión asfáltica, se preparan dos (2) muestras de prueba, una de las cuales se sumerge en un vaso que contenga agua a la temperatura ambiente y se deja saturar durante dieciséis a veinte (16 a 20) horas; al finalizar este período, se eleva la temperatura del agua a cuarenta grados centígrados (40°C) y se

mantiene durante una (1) hora. A continuación se vacía la muestra en una charola, eliminándole el agua por decantación y se oreo moviéndola periódicamente hasta que el material pétreo contenga en forma aproximada, la humedad de absorción. La otra muestra de agregados se calentará en el horno a cincuenta grados centígrados (50° C), cuando se utilicen asfaltos rebajados y no se calentará cuando se empleen emulsiones.

b6) Se prepara una muestra de material asfáltico de cien (100) gramos, aproximadamente, calentándola a la temperatura de aplicación especificada, excepto si se trata de emulsión asfáltica, en cuyo caso no deberá calentarse. Cuando se utilicen cementos asfálticos mezclados con aditivos, el asfalto se mantendrá a la temperatura de aplicación durante cuarenta y ocho (48) horas aproximadamente, antes de efectuar la mezcla.

c) La prueba se efectúa en la forma siguiente:

c1) Inmediatamente después de preparar los materiales como se indica en el párrafo b) de este inciso, se agrega a cada una de las muestras de material pétreo, la cantidad de asfalto que se indica en la Tabla Núm. V.

Cuando se utilizan asfaltos rebajados o emulsiones asfálticas se determinará la cantidad de producto con base en su contenido de residuo asfáltico.

c2) A continuación se mezclan con la espátula las muestras preparadas, hasta lograr que

TABLA NÚM. V.

PORCENTAJE APROXIMADO, EN PESO, DE CEMENTO ASFÁLTICO
PARA LOGRAR EL CUBRIMIENTO DEL MATERIAL PÉTREO.

TIPO DE SUPERFICIE DEL MATERIAL PÉTREO	ABSORCIÓN DEL MATERIAL EN POR CIENTO		
	0.0 a 2.5	2.6 a 5.0	MAYOR DE 5.0
LISA	3	4	5
SEMIRRUGOSA	4	5	6
RUGOSA	5	6	7

el asfalto cubra completa y uniformemente las partículas; si después de diez (10) minutos de mezclado no se logra el cubrimiento, se verifica la temperatura y en su caso, se calienta cada una de las mezclas a cuarenta grados centígrados (40°C) cuando se usen asfaltos rebajados o bien, a ciento veinte grados centígrados (120°C) cuando se utilicen cementos asfálticos; el mezclado se continuará hasta observar que no se mejore sensiblemente el cubrimiento obtenido. Las mezclas elaboradas con emulsión, así como las efectuadas con los materiales conteniendo su agua de absorción, no deberán calentarse ni remezclarse. Si al aplicar la cantidad de asfalto seleccionada de la Tabla Núm. V, se aprecia en la mezcla escasez o exceso de asfalto, dicha cantidad deberá aumentarse o disminuirse en uno por ciento (1%) en peso, aproximadamente, hasta lograr el cubrimiento adecuado, preparándose una nueva mezcla en caso necesario.

c3) Se colocan dentro del horno las charolas

conteniendo sus mezclas, regulado a una temperatura de sesenta grados centígrados (60°C), para someterlas a un proceso de curado durante quince (15) horas; no se curan las mezclas cuando se hayan elaborado con cemento asfáltico, y en este caso únicamente se dejan enfriar a la temperatura ambiente durante dos (2) horas.

- c4) Al terminarse el proceso de curado, se sacan del horno las muestras e inmediatamente después se remezcla cada una de ellas en su charola respectiva, durante dos (2) minutos aproximadamente, después de lo cual se enfrían hasta una temperatura de veinticinco más menos dos grados centígrados ($25 \pm 2^{\circ}\text{C}$).
- c5) Se colocan en los frascos de vidrio las mezclas preparadas y se agregan a cada uno ciento setenta y cinco (175) centímetros cúbicos de agua destilada o potable, a una temperatura inicial de veinticinco más menos dos grados centígrados ($25 \pm 2^{\circ}\text{C}$) y se tapan herméticamente.
- c6) A continuación se instalan en la máquina de prueba los frascos que contienen las mezclas y se agitan durante un período de quince (15) minutos. Cuando se requiera conocer la adhesividad entre el material pétreo y el asfalto, bajo condiciones más desfavorables, se agitan las mezclas por dos (2) períodos consecutivos adicionales de quince (15) minutos cada uno, calentando los frascos con su contenido a temperaturas de cuarenta más menos dos grados centígrados ($40 \pm 2^{\circ}\text{C}$) y cincuenta más menos dos grados centígrados ($50 \pm 2^{\circ}\text{C}$),

respectivamente.

- c7) A continuación se retiran los frascos de la máquina de agitado, se destapan y se elimina por decantación el agua de cada frasco; se vacía separadamente sobre una hoja de papel blanco la mezcla que contiene cada frasco y se coloca sobre una mesa bien iluminada en donde se observa el desprendimiento del asfalto ocurrido en las partículas, el cual se estima como porcentaje de la superficie total del material pétreo en cada una de las muestras.
- d) En esta prueba se reporta el porcentaje de desprendimiento observado en cada una de las muestras, y si dicho desprendimiento excede de veinticinco por ciento (25%), se considera que el material no cumple el requisito de afinidad con el asfalto indicado en las Normas de la Secretaría. En este caso podrá estudiarse el incremento de la adherencia del material pétreo y el asfalto en la mezcla, mediante los procedimientos indicados en el párrafo (010-L.01.b) de este Capítulo.
- e) Las causas más frecuentes de error al efectuar esta prueba son las siguientes:
- e1) Que durante la elaboración de las mezclas de prueba haya pérdidas de material asfáltico.
 - e2) Que al elaborar la mezcla, el cubrimiento de las partículas no sea lo más completo posible.
 - e3) Que se utilice en la prueba un material asfáltico cuyas propiedades hayan sido alteradas o no correspondan al que se vaya

a utilizar en la obra.

010-L.05 En este inciso se describe la prueba de pérdida de estabilidad por inmersión en agua que se aplica a mezclas asfálticas compactadas y consiste en determinar la disminución de resistencia a la compresión sin confinar, que se presenta en especímenes sumergidos en agua después del curado, en relación con sus respectivos duplicados curados en el horno y que no se someten a la inmersión en agua.

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

Baños de agua, con recubrimiento inoxidable y control de temperatura entre veinte y cien grados centígrados ($20 - 100^{\circ}\text{C}$), con dos grados centígrados (2°C) de aproximación.

Baño de aire, provisto de control de temperatura entre veinte y sesenta grados centígrados ($20 - 60^{\circ}\text{C}$), con dos grados centígrados (2°C) de aproximación.

Máquina de compresión axial con dispositivo para hacer lecturas cada diez (10) kilogramos, capaz de mantener una velocidad de deformación de un (1) centímetro por minuto, aproximadamente.

Extensómetro con aproximación de cero punto cero un (0.01) milímetro.

Balanza de solución con platillos planos, con capacidad de veinte (20) kilogramos y un (1) gramo de aproximación.

Calibrador con aproximación de cero punto cero un (0.01) milímetro.

Recipientes herméticos con dimensiones adecuadas para contener los especímenes de

prueba.

Placas planas de metal o vidrio.

Bolsas de plástico impermeables.

- b) Con una muestra de material pétreo obtenida y preparada como se indica en las cláusulas (010-B) y (010-C) de este Capítulo, respectivamente, y una muestra de material asfáltico obtenida como se indica en la cláusula (011-B) de este Libro 6, se prepara una mezcla asfáltica y se elaboran con ésta seis (6) especímenes de acuerdo con el procedimiento para la prueba de compresión sin confinar descrita en el inciso (012-D.03) de este Libro 6 y utilizando el contenido óptimo de asfalto determinado por el método que corresponda de los que se indican en la cláusula (012-D.03).
- c) Se determina el peso específico o peso volumétrico de cada uno de los especímenes siguiendo el procedimiento que se indica en el inciso (012-E.06). Los especímenes cuyo peso específico o volumétrico discrepe en más del tres por ciento (3%) del promedio general, se desecharán, y se repondrán por otros que cumplan esta condición.
- d) La prueba se efectúa en la forma siguiente:
 - d1) Con el calibrador se determina el diámetro medio de cada uno de los especímenes y se registra como D, en centímetros.
 - d2) Se seleccionan los especímenes de acuerdo con su peso específico o volumétrico para formar dos (2) grupos de tres (3) especímenes cada uno, de tal manera que el peso específico promedio de un grupo discrepe

lo menos posible del peso específico promedio del otro grupo.

- d3) Se colocan los especímenes del primer grupo en recipientes herméticos y secos, conservándolos así a la temperatura ambiente durante veinte (20) horas aproximadamente y a continuación, se colocan durante cuatro (4) horas en el baño de aire a una temperatura de veinticinco más menos dos grados centígrados ($25 \pm 2^{\circ}\text{C}$) o bien, se introduce cada espécimen en una bolsa de plástico herméticamente cerrada y se sumergen en el baño de agua a la temperatura antes referida, durante cuatro (4) horas.
- d4) Se introducen los especímenes del segundo grupo en un baño de agua a veinticinco más menos dos grados centígrados ($25 \pm 2^{\circ}\text{C}$) en donde permanecerán durante cuatro (4) días.
- d5) Al término de cada uno de los tratamientos que se indican en los subpárrafos d3) y d4) de este párrafo, se retiran los especímenes de los baños y se depositan sobre una superficie plana.
- d6) En seguida se coloca uno (1) de los especímenes del primer grupo o sea de los que no tuvieron contacto directo con el agua, en la máquina de compresión con el extensómetro ajustado para medir la deformación del espécimen durante la prueba; se aplica la carga axial de compresión a velocidad uniforme para lograr una deformación vertical de un (1) centímetro por minuto hasta llegar a la falla o sea, cuando ya no se registran incrementos en la

carga aplicada; en esta forma se tiene su valor máximo que se anota como carga de falla C, en kilogramos. Se repite el procedimiento indicado en este subpárrafo, en cada uno de los especímenes restantes del grupo y en su oportunidad en todos los del segundo grupo.

e) Los cálculos y reportes de esta prueba son los que se indican a continuación:

e1) Se calcula la resistencia a la compresión de cada uno de los especímenes de los dos grupos, empleando la fórmula siguiente:

$$R = \frac{C}{A}$$

En donde:

R es la resistencia a la compresión de cada espécimen, en kilogramos por centímetro cuadrado.

C es la carga máxima de falla de cada espécimen, en kilogramos.

A es el área de la sección transversal media de cada espécimen, en centímetros cuadrados.

e2) Se determina la resistencia promedio a la compresión, de los especímenes de cada grupo, anotándose como R_1 la del primer grupo y como R_2 la del segundo.

e3) Se calcula la pérdida de estabilidad por inmersión en agua, utilizando la fórmula siguiente:

$$PE = \left(1 - \frac{R_2}{R_1}\right) 100$$

En donde:

PE es la pérdida de estabilidad por inmersión en agua, en por ciento.

R₁ es la resistencia promedio a la compresión de los especímenes del grupo que no estuvo en contacto con el agua, en kilogramos por centímetro cuadrado.

R₂ es la resistencia promedio a la compresión de los especímenes del grupo que estuvo en contacto con el agua, en kilogramos por centímetro cuadrado.

e4) En esta prueba se reporta la pérdida de estabilidad por inmersión en agua. Si dicha pérdida es mayor del veinticinco por ciento (25%) se considera que el material no cumple el requisito de afinidad con el asfalto indicado en las Normas de la Secretaría. En este caso podrá estudiarse el incremento de la adherencia del asfalto en la mezcla, mediante alguno de los procedimientos indicados en el párrafo (010-L.01.b) de este Capítulo.

f) Las causas más frecuentes de error en esta prueba son las siguientes:

f1) Que los especímenes se deterioren o se deformen por no manejarse en forma adecuada.

f2) Que el agua penetre a las bolsas de polietileno que protegen a los especímenes.

f3) Que no se efectúe correctamente la aplicación de la carga de prueba.

010-M PRUEBA DE DESGASTE LOS ANGELES

010-M.01 Esta prueba tiene por objeto determinar el

desgaste de los materiales pétreos que se emplean en la construcción de mezclas asfálticas, carpetas de riegos, riegos de sello y otros usos, para estimar el efecto perjudicial que origina a los materiales su grado de alteración, su baja resistencia estructural, planos de debilitamiento, planos de cristalización, forma de las partículas, etc.; la prueba consiste en someter a las muestras de material pétreo seco y con determinada granulometría a un proceso de abrasión que se efectúa en la máquina Los Angeles, en la que se introduce la muestra junto con esferas metálicas y mediante una rotación de dicha máquina se originan entre las esferas y el material cargas abrasivas y de impacto.

010-M.02 El equipo necesario para efectuar esta prueba es el siguiente:

Máquina de abrasión Los Angeles como la que se ilustra en la Figura Núm. 32, constituida por un cilindro hueco de acero, cerrado en sus extremos, con un diámetro interior de setecientos once (711) milímetros y longitud interior de quinientos ocho (508) milímetros, provista de una abertura para la introducción del material, la cual puede cerrarse herméticamente por medio de una cubierta dispuesta de manera que conserve el contorno de la superficie interior; el cilindro lleva en su parte interior y a todo lo largo una placa radial de acero, removable, de ochenta y nueve (89) milímetros de ancho; dicho cilindro está montado en una base rígida, mediante ejes fijos unidos a los centros de las cubiertas del mismo, de manera que pueda girar en una posición horizontal, con una velocidad de treinta a treinta y tres (30 a 33) revoluciones por minuto.

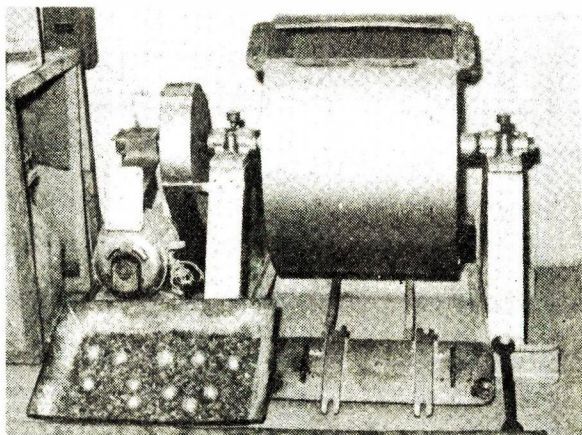


Figura Núm. 32. Máquina de abrasión Los Angeles.

Esferas de acero con un diámetro de cuarenta y siete punto seis (47.6) milímetros, con peso comprendido entre trescientos noventa (390) y cuatrocientos cuarenta y cinco (445) gramos, cada una.

Mallas Núms. 75.0, 63.0, 50.0, 37.5, 25.0, 19.0, 12.5, 9.5, 6.3, 4.75, 2.36 y 1.70.

Horno con termostato que mantenga una temperatura de ciento cinco más menos cinco grados centígrados ($105 \pm 5^{\circ}\text{C}$).

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

Charolas de lámina rectangulares.

010-M.03 La preparación de las muestras se efectuará de acuerdo con lo que se indica a continuación:

a) De una muestra de material pétreo obtenida

y preparada como se menciona en las cláusulas (010-B) y (010-C) de este Capítulo, respectivamente, se toma por cuarteo una porción representativa de veinte (20) kilogramos, aproximadamente.

- b) Se determina el peso específico o volumétrico del material seco y suelto δ_d , así como la composición granulométrica de la muestra de veinte (20) kilogramos, de acuerdo con los procedimientos que se indican en las cláusulas (010-G) y (010-I) de este Capítulo, respectivamente.
- c) Se criba la muestra por la malla Núm. 1.70 y se lavan sobre dicha malla las partículas retenidas, pudiendo evitarse el lavado cuando se observan limpias.
- d) Se seca en el horno la fracción retenida en la malla Núm. 1.70 a una temperatura de ciento cinco más menos cinco grados centígrados ($105 \pm 5^\circ\text{C}$), hasta obtener peso constante.
- e) Se seleccionan en la Tabla VI el tipo de muestra y demás requisitos de la prueba, en función de la granulometría de proyecto, la granulometría que corresponda al material de acuerdo con el uso que se le pretenda dar o bien, a la granulometría de la muestra original; en cada caso se selecciona el tipo de muestra que se apegue más a la composición granulométrica del material por ensayar.
- f) De acuerdo con el tipo de muestra seleccionado se clasifica el retenido de la malla Núm. 1.70, cribándolo por las mallas correspondientes; a continuación, se pesan y mez

T A B L A VI
CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS DE PRUEBA
Y DE LA CARGA ABRASIVA

TIPO DE MUESTRA	GRANULOMETRIA		PESO DE LA MUESTRA EN GRAMOS	CARGA ABRASIVA	
	PASA MALLA NUM.	RETIENE MALLA NUM.		NUM. DE ESFERAS	PESO TOTAL EN GRAMOS
A	37.5	25.0	1250 ± 25	12	5000 ± 25
	25.0	19.0	1250 ± 25		
	19.0	12.5	1250 ± 10		
	12.5	9.5	1250 ± 10		
T O T A L 5000 ± 10					
B	19.0	12.5	2500 ± 10	11	4584 ± 25
	12.5	9.5	2500 ± 10		
T O T A L 5000 ± 10					
C	9.5	6.3	2500 ± 10	8	3330 ± 20
	6.3	4.75	2500 ± 10		
T O T A L 5000 ± 10					
D	4.75	2.36	5000 ± 10	6	2500 ± 15
T O T A L 5000 ± 10					
E	75.0	63.0	2500 ± 50	12	5000 ± 25
	63.0	50.0	2500 ± 50		
	50.0	37.5	5000 ± 50		
T O T A L 10000 ± 100					
F	50.0	37.5	5000 ± 50	12	5000 ± 25
	37.5	25.0	5000 ± 25		
T O T A L 10000 ± 75					
G	37.5	25.0	5000 ± 25	12	5000 ± 25
	25.0	19.0	5000 ± 25		
T O T A L 10000 ± 50					

clan las fracciones respectivas para integrar la muestra de prueba y se registra su peso total como W_i , en gramos.

010-M.04 La prueba se efectúa en la forma siguiente:

- a) Se determina en la Tabla VI del inciso (010-M.03), el número de esferas que forman la carga abrasiva, tomando en cuenta el tipo de la muestra de prueba seleccionado.
- b) A continuación se colocan dentro del cilindro de la máquina Los Angeles la muestra de prueba con peso W_i , determinado como se describe en el inciso (010-M.03) y con la carga abrasiva correspondiente; se instala su cubierta y se cierra ésta herméticamente.
- c) Se hace funcionar la máquina para que gire a una velocidad uniforme de treinta a treinta y tres (30 a 33) revoluciones por minuto, hasta completar quinientas (500) revoluciones, en el caso de muestras de los tipos A, B, C y D, y de mil (1000) revoluciones para las de los tipos E, F y G.
- d) A continuación se saca la muestra del cilindro, se vacía en una charola y se criba por la malla Núm. 1.70; se pesa la fracción retenida en dicha malla y se registra su peso como W_f , en gramos.

010-M.05 En esta prueba se calcula y reporta lo siguiente:

- a) El porcentaje de desgaste del agregado pétreo, por medio de la fórmula siguiente:

$$D = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100$$

En donde:

D es el desgaste del material pétreo, en por ciento.

W_f es el peso final de la fracción retenida en la malla Núm. 1.70, en gramos.

W_i es el peso inicial de la muestra de prueba, en gramos.

010-M.06 Al efectuar esta prueba deberán tenerse las siguientes precauciones:

- a) Vigilar que la máquina se encuentre debidamente nivelada, que al funcionar no presente cabeceo, que trabaje a la velocidad especificada y que se complete el número de revoluciones requerido para la prueba.
- b) Evitar pérdidas de material durante la prueba.
- c) Verificar que se cumplan los requisitos señalados en la Tabla VI para la carga abrasiva, en lo que respecta al número de esferas y a su peso total.

010-N PRUEBA DE INTEMPERISMO ACELERADO

010-N.01 Esta prueba tiene por objeto estimar la alteración que pueden sufrir los materiales pétreos al estar expuestos a la acción del intemperismo, cuando se utilizan en la construcción de carpetas y riegos de sello; consiste en someter a dichos materiales a varios ciclos de saturación en soluciones de sulfato de sodio o de magnesio, y de secado en horno, que producen degradación de los materiales pétreos, la cual se considera como una medida de la susceptibilidad de los mismos a los efectos del medio ambiente.

010-N.02 El equipo y materiales necesarios para efectuar esta prueba son los siguientes:

Mallas Núms. 75.0, 63.0, 50.0, 37.5, 31.5,

25.0, 19.0, 16.0, 12.5, 9.5, 8.0, 4.75, 4.00, 2.36, 1.18, 0.600, 0.300 y 0.150.

Horno con termostato que mantenga una temperatura de ciento cinco más menos cinco - grados centígrados ($105 \pm 5^{\circ}\text{C}$).

Densímetro calibrado de uno punto cero (1.0) a uno punto cuatro (1.4).

Charolas metálicas rectangulares.

Charolas metálicas redondas.

Recipiente de plástico con tapa y con capacidad de un (1) litro, aproximadamente.

Recipiente de plástico con tapa y con capacidad de doce (12) litros, aproximadamente.

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

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

Siete (7) canastillas de malla metálica de latón o bronce, con aberturas equivalentes a la malla Núm. 2.36, con capacidad de dos punto cinco (2.5) litros, aproximadamente.

Cinco (5) canastillas de malla metálica de latón o bronce, con aberturas equivalentes a la malla Núm. 0.150, con capacidad de cien (100) centímetros cúbicos, aproximadamente.

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

Recipientes de plástico con tapa y con capacidad de veinte (20) litros, aproximadamente y de forma adecuada para introducir las canastillas.

Veinte (20) litros de solución de sulfato

de sodio que se prepara vaciando en un recipiente de plástico diecinueve (19) litros de agua limpia a treinta grados centígrados (30°C), adicionando por cada litro de agua trescientos cincuenta (350) gramos de sulfato de sodio anhidro (Na_2SO_4) o bien setecientos cincuenta (750) gramos de sulfato de sodio cristalino decahidratado ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), ambos de calidad industrial. Con dichas cantidades se asegura la saturación de la solución, lo cual se manifiesta por la presencia de cristales en la misma; para llevar a cabo la disolución se agita vigorosamente el agua durante la adición de la sal. A continuación, se deja en reposo la solución hasta que adquiera la temperatura de veintiuno más menos un grado centígrado ($21 \pm 1^{\circ}\text{C}$), manteniéndola en estas condiciones durante cuarenta y ocho (48) horas como mínimo, antes de utilizarla.

Veinte (20) litros de solución de sulfato de magnesio preparada en sustitución de la de sulfato de sodio y en forma similar a ésta, utilizando por cada litro de agua trescientos cincuenta (350) gramos de sulfato de magnesio anhidro (MgSO_4) o bien, mil cuatrocientos (1400) gramos de sulfato de magnesio eptahidratado o sal de Epsom ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), ambos cuando menos de calidad industrial.

Solución de cloruro de bario acidulada, que debe prepararse disolviendo diez (10) gramos de cloruro de bario químicamente puro (BaCl_2) en cuarenta (40) centímetros cúbicos de agua destilada, a la que se le agregan veinte (20) centímetros cúbicos de áci

do clorhídrico químicamente puro; la solución antes referida se mezcla con una varilla de vidrio y se le agrega la cantidad de agua suficiente para completar cien (100) centímetros cúbicos. En caso de que no se disuelva el cloruro de bario, se calentará ligeramente la solución para facilitar esta operación.

010-N.03 De una muestra de material pétreo obtenida y preparada como se indica en las cláusulas (010-B) y (010-C), de este Capítulo, respectivamente, se toma por cuarteo una cantidad de veinte (20) kilogramos y se divide en dos (2) partes aproximadamente iguales. Se criba una de éstas por la malla Núm. 9.5 y se elimina el material retenido; a continuación, se criba la otra parte por la malla Núm. 4.75 y se elimina el material que pasa dicha malla. A la primera porción obtenida se le llama porción fina y a la segunda, porción gruesa; a estas dos porciones se les da el tratamiento que se indica a continuación:

- a) Para la preparación de las fracciones de prueba de la porción fina se determina su composición granulométrica aplicando el procedimiento que se indica en la cláusula (010-I), utilizando las mallas Núms. 4.75, 2.36, 1.18, 0.600 y 0.300. Se anotan los pesos de los retenidos parciales así como el del material que pasa la malla Núm. 0.300, y se obtienen sus porcentajes con respecto a su peso total. En seguida se procesa esta porción como se indica a continuación:
- al) Se lava la porción fina por la malla Núm. 0.300 hasta que el agua salga clara, se vierte en una charola el material lavado y se seca en el horno hasta peso constante a una temperatura de ciento cinco más

menos cinco grados centígrados ($105 \pm 5^{\circ}\text{C}$); se saca del horno y se deja enfriar a la temperatura ambiente. A continuación, se obtienen mediante cribado cien (100) gramos de cada uno de los retenidos parciales en las mallas mencionadas al iniciar este párrafo a) y se anotan estos pesos como W_i en gramos, con excepción de los retenidos que representan menos del cinco por ciento (5%) en peso de la porción fina, los cuales se eliminan.

a2) Se vacían por separado cada una de las fracciones de cien (100) gramos en las canastillas con aberturas equivalentes a la malla Núm. 0.150.

b) Para la preparación de las fracciones de prueba de la porción gruesa, se le determina previamente a ésta su composición granulométrica de acuerdo con el procedimiento que se indica en la cláusula (010-I) y utilizando las mallas Núms. 75.0, 63.0, 50.0, 37.5, 25.0, 19.0, 12.5, 9.5 y 4.75; se anotan los retenidos parciales en porcentaje con respecto al peso total de la porción, y se procede como se indica a continuación:

b1) Se lava toda la porción gruesa a través de la malla Núm. 4.75 hasta que el agua salga clara; a continuación, se vierte en una charola el material lavado y se seca en el horno hasta peso constante a una temperatura de ciento cinco más menos cinco grados centígrados ($105 \pm 5^{\circ}\text{C}$); se saca del horno y se deja enfriar a la temperatura ambiente.

b2) A continuación se obtienen mediante criba

do, para cada tamaño nominal, las fracciones de prueba con los pesos de material indicados en la Tabla VII, anotando estos pesos como W_i en gramos, con excepción de los retenidos parciales que representan menos del cinco por ciento (5%) en peso de la porción gruesa, los cuales se eliminan.

TABLA VII

PESOS DE LAS FRACCIONES PARA INTEGRAR LAS
MUESTRAS DE LA PORCION GRUESA

Tamaño nominal del material clasificado, mallas Núm.	Mallas Núms.	Peso en gramos	Peso total en gramos
75.0 a 37.5			5000 $\pm$ 300
	75.0 a 50.0	3000 $\pm$ 300	
	50.0 a 37.5	2000 $\pm$ 200	
37.5 a 19.0			1500 $\pm$ 50
	37.5 a 25.0	1000 $\pm$ 50	
	25.0 a 19.0	500 $\pm$ 30	
19.0 a 9.5			1000 $\pm$ 10
	19.0 a 12.5	670 $\pm$ 10	
	12.5 a 9.5	330 $\pm$ 5	
9.5 a 4.75	9.5 a 4.75	300 $\pm$ 5	300 $\pm$ 5

- b3) Se vacían por separado cada una de las fracciones de prueba en las canastillas con aberturas equivalentes a la malla Núm. 2.36.

010-N.04 La prueba se efectúa en la forma siguiente:

- a) Se agita vigorosamente la solución de sulfato de sodio o de magnesio para homogeneizarla y en seguida se determina, con el densímetro, su peso específico relativo, el cual debe estar comprendido entre uno punto ciento cincuenta y uno (1.151) y uno punto ciento setenta y cuatro (1.174); se vierten en cada uno de los recipientes de plástico con capacidad de veinte (20) litros, cantidades suficientes de la solución para que al introducir las canastillas con material pétreo, éste quede cubierto con un tirante mínimo de dos (2) centímetros.
- b) Se sumergen en su respectivo recipiente de plástico con solución cada una de las canastillas que contienen las diferentes fracciones de prueba de las porciones fina y gruesa, y se mantienen en estas condiciones durante dieciséis a dieciocho (16 a 18) horas, a una temperatura de veintiuno más menos un grado centígrado ($21 \pm 1^{\circ}\text{C}$), permaneciendo tapados los recipientes para reducir la evaporación y evitar la introducción de partículas extrañas.
- c) A continuación se extraen de la solución las canastillas conteniendo las fracciones de prueba y se dejan escurrir durante quince más menos cinco (15 ± 5) minutos, se introducen en el horno y se secan hasta peso constante a una temperatura de ciento cinco más menos cinco grados centígrados ($105 \pm 5^{\circ}\text{C}$), debiendo removerse periódicamente los agregados durante esta operación; terminada ésta se sacan del horno en sus respectivas

canastillas y se dejan enfriar a la temperatura ambiente, con lo cual concluye el primer ciclo de la prueba.

- d) Se repiten cuatro (4) veces más las operaciones indicadas en los párrafos b) y c) de este inciso, en todas las fracciones de prueba contenidas en las canastillas.
- e) Terminado el último ciclo se lavan con agua todas las fracciones para eliminarles el sulfato remanente; de la última porción del agua de lavado se toma una muestra en un tubo de ensaye y se agregan dos (2) o tres (3) gotas de la solución de cloruro de bario acidulada, y si aparece un precipitado blanco lechoso, se continuará lavando la muestra hasta que el precipitado no aparezca.
- f) Se colocan en recipientes por separado cada una de las fracciones de prueba contenidas en las canastillas y 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, después de lo cual se sacan del horno y se dejan enfriar a la temperatura ambiente.
- g) Se criba cada una de las fracciones de prueba, tanto de la porción fina como de la gruesa, por la malla correspondiente de las indicadas en la última columna de la Tabla VIII, de acuerdo con el tamaño nominal; se determina el peso del retenido en cada una de las mallas mencionadas y se anota como W_f , en gramos.

TABLA VIII

MALLAS PARA CRIBAR CADA FRACCION DE PRUEBA DESPUES
DEL ULTIMO CICLO DE SATURACION Y SECADO

Porción del material	Tamaño nominal del material clasificado			Se criba por la malla Núm.
	Mallas Núm.			
F i n a	9.5	a	4.75	4.75
	4.75	a	2.36	2.36
	2.36	a	1.18	1.18
	1.18	a	0.600	0.600
	0.600	a	0.300	0.300
G r u e s a	75.0	a	37.5	31.5
	37.5	a	19.0	16.0
	19.0	a	9.5	8.0
	9.5	a	4.75	4.0

010-N.05 Los cálculos y reportes de esta prueba son los siguientes:

- a) Se calcula el por ciento en peso que pierden la porción gruesa y la porción fina en cada tamaño nominal, aplicando la siguiente fórmula:

$$P_I = \frac{W (W_i - W_f)}{W_i}$$

En donde:

P_I es la pérdida de peso que presenta cada tamaño nominal de las porciones gruesa o fina en por ciento.

W es el por ciento en peso que de la porción fina o de la gruesa representa el tamaño nominal considerado, corregido para tomar en cuenta únicamente las

fracciones que representan más del cinco por ciento (5%) de la porción fina o gruesa.

W_i es el peso inicial de la fracción de prueba, seca, en gramos.

W_f es el peso final de la fracción de prueba, seca, después del quinto ciclo, en gramos.

- b) Se suman por separado los porcentajes de la pérdida de peso de cada tamaño nominal de las porciones fina o gruesa del material, se registran los dos valores obtenidos y se reporta como pérdida por intemperismo acelerado de la muestra total, el mayor valor de los obtenidos de la porción gruesa o de la fina. Adicionalmente se podrá indicar el número de partículas retenidas en la malla Núm. 19.0, que se sometieron a los ciclos de prueba y después de efectuada ésta, el número de dichas partículas que resultaron afectadas, indicando cuántas de ellas se desintegraron, agrietaron o descascaron. En la Tabla IX se incluye un ejemplo de cálculo de la pérdida por intemperismo de las porciones fina y gruesa de un material.

010-N.06 Al efectuar esta prueba deben tenerse las siguientes precauciones:

- a) Verificar que las soluciones de sulfato de sodio o de magnesio tengan la densidad especificada.
- b) No dejar material atrapado en las mallas, cuando se haga el cribado después de efectuar el quinto ciclo y evitar pérdidas de material durante la prueba.

TABLA IX. EJEMPLO DE CALCULO DE UNA PRUEBA DE INTERPERISMO ACELERADO

GRANULOMETRIA				PRUEBAS			
Muestra		Corregida		Peso de la fracción W_i en gramos	en 5 ciclos		Respecto a la porción Fina o gruesa P_i (%)
Mallo Núm.	Retenidos parciales, (%)	Retenido parcial W_i (%)	gramos		(%)		
4.75	4.60	-----	---	-----	---	$\frac{11.3 \times 11.2}{100} = 1.27$	
2.36	10.80	11.30	100	11.2	11.2	$\frac{17.8 \times 8.0}{100} = 1.42$	
1.18	17.00	17.80	100	8.0	8.0	$\frac{26.4 \times 4.8}{100} = 1.27$	
0.600	25.80	26.40	100	4.8	4.8	$\frac{27.3 \times 4.2}{100} = 1.15$	
0.300	26.00	27.30	100	4.2	4.2		
pasa 0.300	16.40	17.20	---				
TOTAL	100.00	100.00				5.11	
PORCION FINA							
75.0	0		2825				
63.0	6		4783	229.6	4.8	$\frac{20 \times 4.8}{100} = 0.96$	
50.0	12	20.0	1958				
37.5	25		1012	122.0	8.0	$\frac{45 \times 8}{100} = 3.60$	
25.0	20	45.0	513				
19.0	15		675	96.8	9.6	$\frac{23 \times 9.6}{100} = 2.20$	
12.5	8	23.0	333	33.4	11.2	$\frac{12 \times 11.2}{100} = 1.34$	
9.5			298				
4.75	12	12.0	298				
TOTAL	100.0	100.0				8.10	
PORCION GRUESA							

NOTA: Interperismo acelerado de la muestra integral = 8.1 %

010-0 DETERMINACION DE LA FORMA DE LAS PARTICULAS
DE LOS MATERIALES PETREOS

010-0.01 En esta Cláusula se describen las pruebas para determinar la relación entre las dimensiones de las partículas de material pétreo, con el objeto de clasificarlas en cuanto a su forma alargada o forma de laja, y conocer los porcentajes que de cada uno de estos tipos de partículas contienen los materiales pétreos utilizados en la construcción de mezclas asfálticas, carpetas y riegos de sello.

010-0.02 La determinación de las partículas en forma de laja o sea las que tienen una relación entre su espesor y su ancho menor de cero punto seis (0.6), se llevará a cabo en la fracción retenida en la malla Núm. 6.3.

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

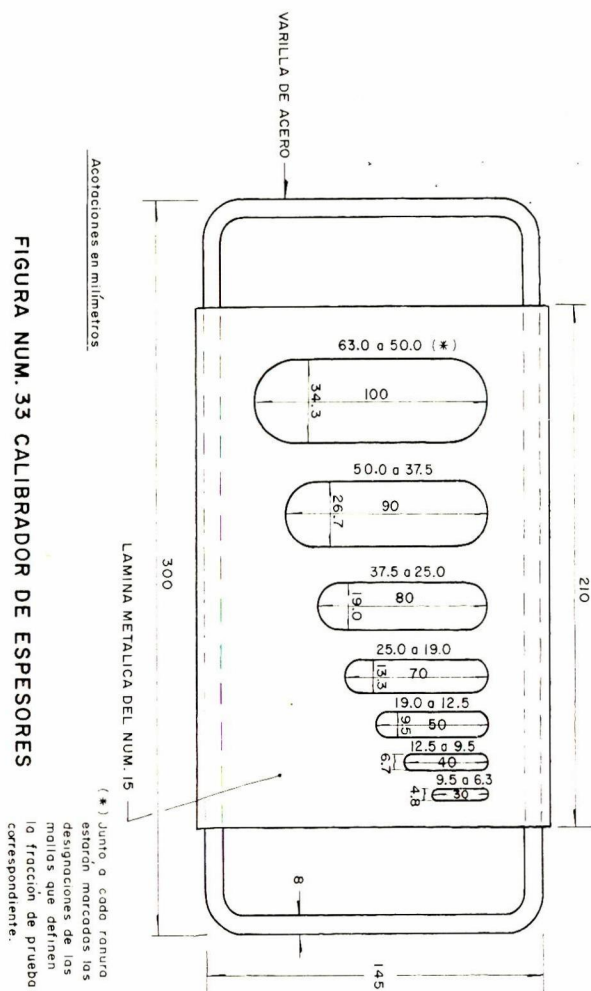
Juego de mallas de las siguientes designaciones: Núms. 63.0, 50.0, 37.5, 25.0, 19.0, 12.5, 9.5 y 6.3.

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

Calibrador de espesores, metálico, con la forma y dimensiones que se indican en la Figura Núm. 33.

- b) La preparación de la muestra se efectuará de la siguiente manera:

- b1) De una muestra obtenida y preparada de acuerdo con los procedimientos indicados en las cláusulas (010-B) y (010-C) de este Capítulo, respectivamente, se toma por cuarteo una porción de material pétreo suficiente para obtener como mínimo doscientas (200) partículas retenidas en la malla Núm. 6.3.



- b2) Se criba dicha porción por la malla Núm. 6.3 y se elimina el material que pasa dicha malla.
- b3) Se pesa la fracción retenida en la malla Núm. 6.3 y se registra su peso como W_i en gramos; a continuación se criba esta fracción por las mallas indicadas en el párrafo a) de este inciso. En seguida se determina el número de partículas retenidas en cada malla y se verifica que el total no sea menor de doscientos (200); de lo contrario, se efectuarán las operaciones indicadas utilizando una porción de muestra de mayor tamaño.
- c) La prueba se efectúa en la forma siguiente:
- c1) Se toman de una en una las partículas que forman cada porción clasificada de la muestra y se verifica si pasan por la ranura correspondiente del calibrador de es pesores, buscando la posición más adecuada de cada una de dichas partículas para esta operación.
- c2) Se reúnen todas las partículas que hayan pasado por las ranuras del calibrador, se les determina su peso y se anota éste como W_p , en gramos.
- d) Se calcula y reporta el contenido de partículas en forma de laja, del material pétreo, aplicando la siguiente fórmula:

$$C_p = \frac{W_p}{W_i} \times 100$$

En donde:

C_p es el contenido de partículas en forma

de laja, en por ciento.

W_p es el peso de las partículas que pasan por las ranuras correspondientes del - calibrador, en gramos.

W_i es el peso total del material retenido en la malla Núm. 6.3, en gramos.

010-0.03 La determinación de las partículas alargadas o sea las que tienen una relación entre su largo y su ancho mayor de uno punto ocho (1.8) se llevará a cabo en la fracción retenida en la malla Núm. 6.3.

a) El equipo necesario para efectuar esta prueba es el que se describe en el párrafo (010-0.02.a), únicamente que el calibrador de espesores se sustituye por el calibrador de longitudes de la forma y dimensiones indicadas en la Figura Núm. 34.

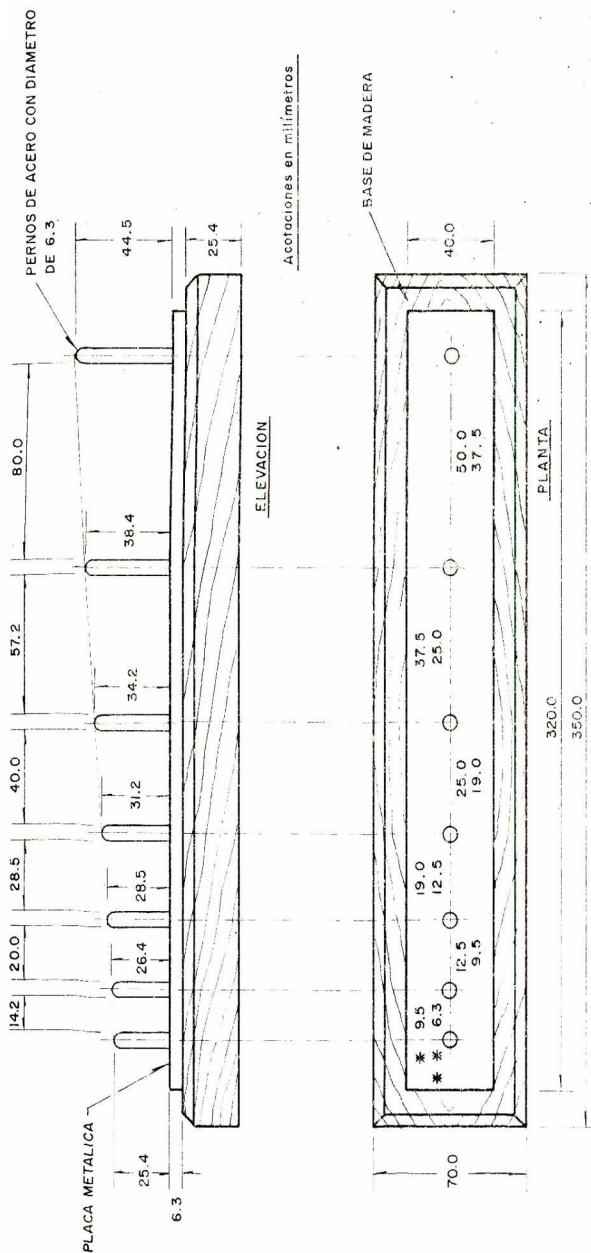
b) La preparación de la muestra se efectuará como se describe en el párrafo (010-0.02.b) de este inciso.

c) La prueba se efectúa en la forma siguiente:

c1) Se toman de una en una las partículas que forman cada porción clasificada de la muestra y se verifica si pasan por el claro correspondiente del calibrador de longitudes, de manera que al tratar de pasarlas tengan una posición tal que su mayor dimensión sea paralela al eje longitudinal del calibrador.

c2) Se reúnen todas las partículas que no pasaron por los respectivos claros del calibrador, se les determina su peso y se anota éste como W_a , en gramos.

d) Se calcula y reporta el contenido de partículas alargadas que tiene el material pé



NOTA. En cada clara estarán marcados las designaciones de las mallas que definen la fracción de prueba correspondiente.

FIGURA NUM. 34 CALIBRADOR DE LONGITUDES

* PASA MALLA NUM.

* SE RETIENE EN LA MALLA NUM.

treo, aplicando la siguiente fórmula:

$$C_a = \frac{W_a}{W_i} \times 100$$

En donde:

C_a es el contenido de partículas alargadas, en por ciento.

W_a es el peso de las partículas que no pasan por los claros del calibrador, en gramos.

W_i es el peso total del material retenido en la malla Núm. 6.3, en gramos.

I N D I C E

P A R T E 01

CARRETERAS Y AEROPISTAS

T I T U L O 02

PAVIMENTOS

	Clasificación	Página
CAPITULO 6.01.03.009.- MATERIALES PARA REVESTIMIENTOS, SUB-BASES Y BASES DE PAVIMENTOS		
CONTENIDO	009-A	1
Conceptos que se tratan	009-A.01	1
MUESTREO	009-B	1
Generalidades	009-B.01	1
Equipo y materiales	009-B.02	2
Procedimientos de muestreo	009-B.03	2
PREPARACION DE LAS MUESTRAS	009-C	8
Generalidades	009-C.01	8
Tratamientos	009-C.02	9
Secado	009-C.03	10
Disgregación	009-C.04	10
Cuarteo	009-C.05	10
Diseño de mezclas	009-C.06	10
DETERMINACION DE LA HUMEDAD O CONTENIDO DE AGUA	009-D	11
Ejecución	009-D.01	11
CORRECCION AL CONTENIDO DE AGUA DETERMINADO CON LA PRUEBA RAPIDA	009-E	11
Ejecución	009-E.01	11
DETERMINACION DE LOS PESOS ESPECIFICOS RELATIVOS Y DE LA ABSORCION	009-F	11
Generalidades	009-F.01	11
Ejecución	009-F.02	11
DETERMINACION DE LA COMPOSICION GRANULOMETRICA	009-G	11
Generalidades	009-G.01	11
Ejecución	009-G.02	12

NORMAS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MAT., EQUIPOS Y SISTEMAS

	Clasificación	Página
DETERMINACION DE LOS LIMITES DE PLASTICIDAD Y DE LA CONTRACCION LINEAL	009-H	12
Ejecución	009-H.01	12
DETERMINACION DEL EQUIVALENTE DE ARENA	009-I	12
Generalidades	009-I.01	12
Equipo y materiales de prueba	009-I.02	13
Preparación de la muestra	009-I.03	17
Procedimiento de prueba	009-I.04	18
Cálculos y reporte	009-I.05	25
Causas frecuentes de error	009-I.06	26
Precauciones	009-I.07	27
DETERMINACION DEL INDICE DE DURABILIDAD	009-J	28
Generalidades	009-J.01	28
Equipo y materiales	009-J.02	28
Preparación de la muestra	009-J.03	30
Procedimiento de prueba	009-J.04	37
Cálculos y reporte	009-J.05	39
Precauciones	009-J.06	41
PRUEBA DE VALOR CEMENTANTE	009-K	41
Generalidades	009-K.01	41
Equipo	009-K.02	41
Procedimiento de prueba	009-K.03	43
Cálculos y reporte	009-K.04	46
Precauciones	009-K.05	46
DETERMINACION DE LOS PESOS ESPECIFICOS O PESOS VOLUMETRICOS	009-L	46
Generalidades	009-L.01	46
Peso específico del material suelto	009-L.02	47
Peso específico del material seco - y suelto	009-L.03	47
Peso específico del material en el banco	009-L.04	47
Peso específico del material en el vehiculo de transporte	009-L.05	47
Peso específico del material en el almacenamiento	009-L.06	51

	Clasificación	Página
Peso específico del material en el camellón	009-L.07	51
Peso específico en el lugar	009-L.08	57
PRUEBAS DE COMPACTACION	009-M	57
Generalidades	009-M.01	57
Prueba de compactación dinámica por el Método AASHTO estándar	009-M.02	57
Prueba de compactación dinámica Proctor SCT	009-M.03	57
Prueba de compactación dinámica por el Método AASHTO modificada 3 capas y AASHTO modificada 5 - capas	009-M.04	58
Prueba de compactación por carga estática	009-M.05	58
Prueba de compactación en materia les estabilizados	009-M.06	58
DETERMINACION DEL GRADO DE COMPACTACION	009-N	58
Ejecución	009-N.01	59
DETERMINACION DE LOS COEFICIENTES DE VARIACION VOLUMETRICA	009-O	59
Ejecución	009-O.01	59
DETERMINACION DE LOS INDICES DE - RESISTENCIA	009-P	59
Ejecución	009-P.01	59
PRUEBAS DE AFINIDAD DEL MATERIAL PETREO CON EL ASFALTO	009-Q	60
Ejecución	009-Q.01	60
DETERMINACION DEL CONTENIDO DE - CEMENTO ASFALTICO EN MEZCLAS ESTABILIZADAS CON ASFALTO	009-R	60
Ejecución	009-R.01	60
DETERMINACION DEL CONTENIDO DE - AGUA Y DISOLVENTES EN MEZCLAS ESTABILIZADAS CON PRODUCTOS --- ASFALTICOS	009-S	60
Ejecución	009-S.01	60
DETERMINACION DE LOS VALORES DE- ESTABILIDAD, EXPANSION Y ABSORCION EN MATERIALES ESTABILIZADOS CON PRODUCTOS ASFALTICOS BASADO- EN EL METODO HUBBARD FIELD (PRUEBA MODIFICADA)	009-T	60

NORMAS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MAT., EQUIPOS Y SISTEMAS

	Clasificación	Página
Generalidades	009-T.01	60
Equipo	009-T.02	61
Preparación de la muestra	009-T.03	66
Elaboración de los especímenes	009-T.04	66
Procedimiento de prueba	009-T.05	72
Cálculos y reporte	009-T.06	75
Precauciones	009-T.07	77
DETERMINACION DEL VALOR SOPORTE- FLORIDA MODIFICADO EN MATERIALES ARENOSOS ESTABILIZADOS CON ASFAL TO	009-U	77
Generalidades	009-U.01	78
Equipo	009-U.02	78
Preparación de la muestra	009-U.03	80
Procedimiento de prueba	009-U.04	81
Cálculos y reporte	009-U.05	85
PRUEBAS EN MATERIALES ESTABILIZADOS CON CEMENTO PORTLAND, CAL HIDRATA- DA O PUZOLANAS. ESTABILIZACION DE- TIPO FLEXIBLE (SUELO MODIFICADO)	009-V	86
Generalidades	009-V.01	86
Equipo y materiales	009-V.02	86
Obtención y preparación	009-V.03	86
Procedimiento de prueba	009-V.04	86
Cálculos y reporte	009-V.05	89
PRUEBAS EN MATERIALES ESTABILIZADOS CON CEMENTO PORTLAND. ESTABILIZA- CION DE TIPO RIGIDO (SUELO CEMENTO)	009-W	90
Generalidades	009-W.01	90
Obtención y preparación de la mues- tra	009-W.02	91
Determinación del peso específico - seco máximo y la humedad óptima en mezclas de prueba	009-W.03	92
Determinación de la expansión o au- mento de volúmen y de la pérdida - por cepillado en ciclos de humede- cimiento y secado	009-W.04	93
Resistencia a la compresión sin con- finar	009-W.05	103
DETERMINACION DEL CONTENIDO DE CEMEN- TO PORTLAND EN MATERIALES ESTABILI- ZADAS. METODO DE TITULACION.	009-X	110

	Clasificación	Página
Generalidades	009-X.01	110
Equipo y materiales	009-X.02	112
Preparación de la muestra	009-X.03	114
Procedimiento de prueba	009-X.04	116
Cálculos y reportes	009-X.05	131
Precauciones	009-X.06	131
CAPITULO 6.01.03.010.- MATERIALES PETREOS PARA CARPETAS Y MEZCLAS- ASFALTICAS		
CONTENIDO	010-A	133
Conceptos que se tratan	010-A.01	133
MUESTREO	010-B	133
Generalidades	010-B.01	133
Equipo y materiales	010-B.02	133
Procedimientos de muestreo	010-B.03	133
PREPARACION DE LA MUESTRA	010-C	134
Ejecución	010-C.01	134
DETERMINACION DE LA HUMEDAD O CON- TENIDO DE AGUA	010-D	134
Ejecución	010-D.01	134
CORRECCION A LA HUMEDAD O CONTENIDO DE AGUA DETERMINADO CON LA PRUEBA- RAPIDA	010-E	135
Ejecución	010-E.01	135
DETERMINACION DE LOS PESOS ESPECIFI- COS RELATIVOS APARENTES Y DE LA AB- SORCION	010-F	135
Generalidades	010-F.01	135
Determinación del peso específico - relativo aparente por inmersión -- del material pétreo en cemento as- fáltico fluidificado	010-F.02	135
Determinación del peso específico- relativo aparente o densidad ---- aparente del material que consti- tuye una mezcla formada por otros de diferente naturaleza	010-F.03	141
DETERMINACION DE LOS PESOS ESPECIFI- COS O PESOS VOLUMETRICOS	010-G	142
Ejecución	010-G.01	142

NORMAS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MAT., EQUIPOS Y SISTEMAS

	Clasificación	Página
DETERMINACION DE LOS COEFICIENTES DE VARIACION VOLUMETRICA	010-H	142
Ejecución	010-H.01	142
DETERMINACION DE LA COMPOSICION GRANULOMETRICA	010-I	142
Ejecución	010-I.01	
DETERMINACION DE LOS LIMITES DE PLASTICIDAD Y DE LA CONTRACCION-LINEAL	010-J	142
Ejecución	010-J.01	142
DETERMINACION DEL EQUIVALENTE DE-ARENA	010-K	142
Ejecución	010-K.01	142
PRUEBAS DE AFINIDAD ENTRE EL MATE-RIAL PETREO Y EL ASFALTO	010-L	143
Generalidades	010-L.01	143
Desprendimiento por fricción	010-L.02	143
Cubrimiento con asfalto (basada en el Método Inglés)	010-L.03	152
Desprendimiento de la película	010-L.04	156
Pérdida de estabilidad por inmer-sión en agua	010-L.05	164
PRUEBA DE DESGASTE LOS ANGELES	010-M	168
Generalidades	010-M.01	168
Equipo	010-M.02	169
Preparación	010-M.03	170
Procedimiento	010-M.04	173
Cálculos y reportes	010-M.05	173
Precauciones	010-M.06	174
PRUEBA DE INTEMPERISMO ACELERADO	010-N	174
Generalidades	010-N.01	174
Equipo	010-N.02	174
Preparación de la muestra	010-N.03	177
Procedimiento de prueba	010-N.04	180
Cálculos y reportes	010-N.05	182
Precauciones	010-N.06	183
DETERMINACION DE LA FORMA DE LAS PARTICULAS DE LOS MATERIALES PE-TREOS	010-O	185

	Clasificación	Página
Generalidades	010-0.01	185
Partículas de material pétreo con forma de laja	010-0.02	185
Partículas de material pétreo con forma alargada	010-0.03	188

Esta edición de 500 ejemplares para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, se terminó de imprimir en el mes de enero de 1988, en los talleres de Novagraf, S.A. de C.V., Penitenciaría 11, CP 15270, México, D.F.



