

692.3N

SCT. n

1986 T-12

SECRETARIA
DE COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES

Normas para Muestreo y Pruebas de Materiales, Equipos y Sistemas

Carreteras y Aeropistas

MATERIALES
PARA TERRACERIAS

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

LIBRO 6

NORMAS PARA MUESTREO Y PRUEBAS DE
MATERIALES, EQUIPOS Y SISTEMAS

PARTE 6.01

CARRETERAS Y AEROPISTAS

TITULO 6.01.01

TERRACERIAS

1986





05695

No.de Adq.
SCT/DGST/CDT

LIBRO 6

NORMAS PARA MUESTREO Y PRUEBAS DE
MATERIALES, EQUIPOS Y SISTEMAS



LIBC0071

PARTE 6.01

CARRETERAS Y AEROPISTAS

TITULO 6.01.01
TERRACERIAS

I N D I C E

	Pág.
Capítulo 001 Generalidades.....	1
002 Muestreo y Prueba de Materiales pa ra Terracerías.....	5
Indice General.....	I

CAPITULO 6.01.01.001 GENERALIDADES

001-A CONTENIDO

001-A.01 En esta Parte se trata lo referente a los métodos de muestreo y de prueba a que deben someterse los diversos materiales y elementos estructurales que se utilicen en la construcción de carreteras y aeropistas.

001-A.02 En general, la primera cláusula de cada capitulo se dedica al contenido del mismo y la segunda, al muestreo de los materiales correspondientes, incluyendo obtención, envase, identificación y transporte de las muestras. Las cláusulas subsecuentes se destinan a la descripción de las pruebas o grupos de pruebas a que deben someterse los citados materiales. Cada método de prueba en general está expuesto en el orden siguiente: objeto de la prueba, equipo, preparación de la muestra, procedimiento para la ejecución de la prueba, cálculos y reportes, así como causas más frecuentes de errores y precauciones para evitarlos.

001-B DEFINICION DE TERMINOS

001-B.01 Para precisar el significado de algunos términos empleados en esta Parte, se han formulado las definiciones de Términos a que se refiere el Capítulo (01.02.007) del Libro 1.

001-B.02 En la ejecución de las pruebas de laboratorio, la designación del tamaño de partículas y en la clasificación de materiales pétreos, se ha adoptado el sistema de mallas que aparece en la Tabla 1, basado en la Serie U.S.A. Standard, el cual deberá tomarse en cuenta en lo que concierne a otros Libros de estas Normas.

TABLA I SISTEMA DE MALLAS

DESIGNACION DE LA MALLA		VARIACION PERMISIBLE DE LA ABERTURA PROMEDIO CON RESPECTO A LA DENOMINACION DE LA MALLA. mm (±)	ABERTURA MAXIMA PERMISIBLE PARA NOMAS DEL CINTO (5%) DE LAS ABERTURAS DE LA MALLA, mm	ABERTURA MAXIMA INDIVIDUAL PERMISIBLE mm	DIAMETRO NOMINAL DEL ALAMBRE mm (2)
NOMINAL (1)	ALTERNATIVA				
Núm. 75.0	Malla 3"	2.2	78.1	78.7	5.80
Núm. 63.0	Malla 2 1/2"	1.9	65.6	66.2	5.50
Núm. 50.0	Malla 2"	1.5	52.1	52.6	5.05
Núm. 37.5	Malla 1 1/2"	1.1	39.1	39.5	4.59
Núm. 31.5	Malla 1 1/4"	1.0	32.9	33.2	4.23
Núm. 25.0	Malla 1"	0.8	26.1	26.4	3.80
Núm. 19.0	Malla 3/4"	0.6	19.9	20.1	3.30
Núm. 16.0	Malla 5/8"	0.5	16.7	17.0	3.00
Núm. 12.5	Malla 1/2"	0.39	13.10	13.31	2.67
Núm. 9.5	Malla 3/8"	0.30	9.97	10.16	2.27
Núm. 8.0	Malla 5/16"	0.25	8.41	8.58	2.07
Núm. 6.3	Malla 1/4"	0.20	6.64	6.78	1.82
Núm. 4.75	Malla Núm. 4	0.15	5.02	5.14	1.54
Núm. 2.36	Malla Núm. 8	0.080	2.515	2.60	1.00
Núm. 2.0	Malla Núm. 10	0.070	2.135	2.215	0.900
Núm. 1.70	Malla Núm. 12	0.060	1.820	1.890	0.810
Núm. 1.40	Malla Núm. 14	0.050	1.505	1.565	0.725
Núm. 1.18	Malla Núm. 16	0.045	1.270	1.330	0.650
Núm. 1.00	Malla Núm. 18	0.040	1.080	1.135	0.580
Núm. 0.850	Malla Núm. 20	0.035	0.925	0.970	0.510
Núm. 0.600	Malla Núm. 30	0.025	0.660	0.695	0.390
Núm. 0.425	Malla Núm. 40	0.019	0.471	0.502	0.290
Núm. 0.300	Malla Núm. 50	0.014	0.337	0.363	0.215
Núm. 0.250	Malla Núm. 60	0.012	0.283	0.306	0.180
Núm. 0.180	Malla Núm. 80	0.009	0.207	0.227	0.131
Núm. 0.150	Malla Núm. 100	0.008	0.174	0.192	0.110
Núm. 0.106	Malla Núm. 140	0.006	0.126	0.141	0.076
Núm. 0.075	Malla Núm. 200	0.005	0.091	0.103	0.053
Núm. 0.045	Malla Núm. 325	0.003	0.057	0.066	0.030

(1) La designación nominal de la malla corresponde a su abertura nominal en milímetros. Cualquiera otra malla no incluida en esta Tabla se designará en forma similar.

(2) El diámetro promedio de los alambres que forman cualquier malla, considerados separadamente en cada una de sus dos (2) direcciones, no variará de los valores nominales en más de lo siguiente:

Para mallas con aberturas mayores de cero punto seiscientos (0.600) milímetros.....

Cinco por ciento (5%).

Para mallas con aberturas de cero punto seiscientos (0.600) milímetros a cero punto ciento veinticinco (0.125) milímetros.....

Siete punto cinco por ciento (7.5%)

Para mallas con aberturas menores de cero punto ciento veinticinco (0.125)

Diez por ciento (10%).

001-C REFERENCIAS

001-C.01 Todas las referencias que se hacen en el texto de esta Parte, corresponden a: Libros, Partes, Títulos, Capítulos, Cláusulas, Incisos, Párrafos y Subpárrafos de las Normas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, con las adiciones y modificaciones que a las mismas haga y ponga en vigor dicha Secretaría.

001-D FINALIDAD DE LAS PRUEBAS

001-D.01 El objeto de las pruebas que se describen en esta Parte, es conocer las características de los materiales y elementos estructurales que se emplean en la construcción de carreteras y aeropistas que ejecuta la Secretaría, para verificar si cumplen con las normas de calidad establecidas en el Libro 4, de estas Normas y decidir si se aceptan, rechazan o cual es su uso más conveniente, de acuerdo con el proyecto. Algunas de las pruebas se emplean también para fines de diseño.

001-D.02 Para que los resultados de las pruebas descritas sean aplicables al control de calidad de materiales, elementos estructurales y al diseño de las obras que ejecuta la Secretaría, deberán obtenerse utilizando precisamente los métodos de muestreo y prueba que se indican en esta Parte, los que señale el proyecto, las Especificaciones correspondientes, o lo que al respecto dicte la propia Secretaría.

CAPITULO 6.01.01.002
MUESTREO Y PRUEBAS DE MATERIALES
MATERIALES PARA TERRACERIAS

002-A CONTENIDO

002-A.01 En este Capítulo se trata lo referente al muestreo de fragmentos de roca y suelos que se emplean en la construcción de terracerías, la preparación de las muestras obtenidas y la descripción de las pruebas de laboratorio que es necesario efectuar para conocer su calidad, prever su probable comportamiento en la obra y controlar sus características durante la construcción. Estas pruebas se utilizan también para diseñar racionalmente las propias terracerías y definir los espesores del pavimento. Las normas de calidad de los materiales citados en esta Cláusula son las que se indican en el Capítulo (01.01.002) del Libro 4, de estas Normas.

002-B MUESTREO

002-B.01 El Muestreo consistirá en la obtención de una porción del material con el que se pretende construir una estructura térrea o bien del material que ya forma parte de la misma, de tal manera que las características de la porción obtenida sean representativas del conjunto. El muestreo, además, incluye las operaciones de envase, identificación y transporte de las muestras. Se distinguirán los siguientes casos:

- a) Muestreo de fragmentos de roca, que se efectuará solamente cuando se requiera determinar algunas de las características físicas de estos materiales para fines de identificación y clasificación. Cuando se trate de fragmentos chicos, para su muestreo se pueden seguir criterios similares a los que se

aplican en los suelos, y en los casos de fragmentos medianos, fragmentos grandes o formaciones de roca, el muestreo se llevará a cabo en lo que corresponda de acuerdo con lo indicado en la Cláusula (01.02.002-B) del Libro 6.

b) Muestreo de suelos, que comprende dos (2) tipos de muestras:

b1) Muestras inalteradas, que son aquéllas en las que se conserva la estructura y la humedad que tiene el suelo en el lugar donde se obtenga la muestra:

b2) Muestras alteradas, que son aquéllas que están constituidas por el material disgregado o fragmentado en las que no se toman precauciones especiales para conservar las características de estructura y humedad; no obstante, en algunas ocasiones conviene conocer el contenido de agua original del suelo, para lo cual las muestras se envasan y transportan en forma adecuada.

002-B.02 Las muestras inalteradas se obtendrán de suelos finos que puedan labrarse sin que se disgreguen. La obtención puede efectuarse en el piso o en las paredes de una excavación, en la superficie del terreno natural o en la de una terracería. La excavación para obtener la muestra deberá ser de dimensiones tales que permitan las operaciones de labrado y extracción de la misma.

a) Las herramientas y materiales que se emplean en la extracción de muestras inalteradas se ilustran en la Figura Núm. 1 y generalmente son:

Picos.

Palas.

Barretas.



Figura Núm. 1. Herramientas para la obtención de muestras inalteradas.

Cuchillos.
Espátulas.
Cucharas de albañil.
Machetes.
Arcos de segueta con alambre de acero.
Estufa ó lampara para secado.
Brochas.
Cinta métrica de lienzo de veinte (20) metros.
Flexómetro.
Recipiente metálico.
Manta de cielo.
Brea.
Parafina.
Cajones de madera.

b) El procedimiento para la extracción de las muestras inalteradas deberá ser el siguiente:

b1) Si la muestra va a ser obtenida del piso

de una excavación o de una superficie prácticamente horizontal, se marca un cuadro de cuarenta (40) centímetros por lado aproximadamente y con el objeto de labrar un cubo de suelo de las dimensiones mencionadas, se excava alrededor de las marcas con la herramienta apropiada, sin dañar la estructura del material de la muestra ya sea por presión o por impacto; se profundizará lo necesario para poder efectuar un corte horizontal en la parte inferior de la muestra. Inmediatamente después de haber realizado dicho corte y sin levantar la muestra, se cubre ésta con manta de cielo recién embebida en una mezcla previamente preparada, de cuatro (4) partes de parafina, por una (1) parte de brea, licuadas por medio de calor; la manta así preparada deberá quedar bien adherida a la muestra.

- b2) Una vez protegidas las cinco (5) caras descubiertas, se procede a separar la muestra cuidadosamente para no dañarla e inmediatamente después, se cubre su cara inferior con una capa de manta de cielo embebida en la mezcla de brea y parafina, en la forma antes descrita, en la Figura Núm. 2. A continuación, a toda la muestra se aplica con una brocha, otra capa de parafina y brea fundidas y aprovechando la temperatura de la mezcla, se fija la tarjeta de identificación en la cara que originalmente estaba en la parte superior.
- b3) Si la muestra va a ser extraída de una pared, se procede a excavar a su alrededor una bóveda, con objeto de facilitar el labrado de las caras superior y laterales

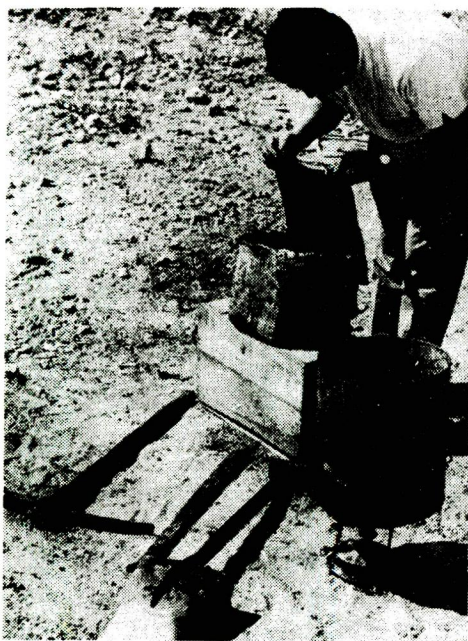


Figura Núm. 2. Protección de una muestra inalterada utilizando manta embebida en una mezcla de parafina y brea.

del cubo y poder efectuar el corte horizontal en la parte inferior del mismo, Figura Núm. 3. La obtención de la muestra, así como su forma, dimensiones, protección e identificación, deberán sujetarse a lo indicado en el subpárrafo b1) anterior.

- c) Una vez extraída y protegida la muestra se colocará en un cajón de dimensiones adecuadas y relleno los espacios libres con aserrín, papel, paja o de otro material similar, a fin de amortiguar el efecto de los golpes que pudiera sufrir durante el transporte. En esta operación se tomarán las precauciones necesarias para que las muestras



Figura Núm. 3, Labrado de una muestra inalterada en una pared.

no sufran perjuicio alguno.

- d) Las muestras se identificarán siempre con dos (2) tarjetas, una sujeta al exterior del envase y la otra en la propia muestra con los siguientes datos claramente escritos:

Obra y localización.

Número de sondeo.

Ubicación del sondeo.

Número de la muestra.

Profundidad a la que se tomó la muestra.

Espesor del estrato correspondiente.

Clasificación de campo.

Uso del material.

Nombre del operador.

Observaciones y fecha.

- e) El número de muestras se fijará en función del tipo de estudio que se esté efectuando y en todos los casos se llevará un registro de los sondeos y de todas las muestras obtenidas en ellos; además, para el estudio de bancos deberá dibujarse un croquis del lugar en el que fueron tomadas las muestras, anotando todas las referencias que se consideren necesarias. Se indicarán, para cada sondeo, las capas o estratos atravesados por éste, con su clasificación correspondiente, formando así un perfil estratigráfico. En el caso de aparecer el nivel freático en el sondeo, deberá anotarse su profundidad.

002-B.03 Las muestras alteradas de suelos podrán obtenerse de una excavación, de un frente, ya sea de corte o de banco o bien, de perforaciones llevadas a profundidad con herramientas especiales. Las muestras deberán ser representativas de cada capa que se atravesase, hasta llegar a una profundidad que puede corresponder al nivel más bajo de explotación, al nivel de aguas freáticas o a aquél al cual sea necesario extender el estudio.

- a) El peso mínimo de la muestra será de cuarenta (40) kilogramos que es la cantidad de suelo que comúnmente se requiere para realizar las pruebas en materiales de terracerías; esta cantidad deberá obtenerse de una muestra representativa mediante el procedimiento de cuarteo, que se indica en el inciso (002-D.04) de este Libro. El espaciamiento de los sondeos y el número de muestras que se tomen deberán estar de acuerdo con la homogeneidad del suelo y el tipo de estudio de que se trate. En suelos que presenten pocas variaciones en sus características, el espaciamiento de los sondeos será

mayor que en los suelos heterogéneos. Igualmente, en los estudios preliminares el espaciamiento será mayor que en los estudios de finitivos.

b) En préstamos laterales continuos y en préstamos de banco dentro del derecho de vía, que contengan materiales homogéneos, se recomienda que los sondeos se hagan a distancias no mayores de doscientos cincuenta (250) metros y a la profundidad suficiente para definir el espesor de material aprovechable; en el caso de préstamos de banco localizados fuera del derecho de vía, se recomienda hacer un sondeo por cada mil seiscientos (1600) metros cuadrados de superficie preferentemente formando una cuadrícula y a una profundidad suficiente de acuerdo con el volumen requerido. Tratándose de cortes, se recomienda hacer tres (3) sondeos como mínimo, en el sentido del cadenamiento que abarquen el ancho de la terracería, aunque en este caso el criterio de muestreo se determinará de acuerdo con su finalidad y las condiciones especiales del lugar, puesto que existen otros procedimientos para el estudio de cortes, que pueden hacer variar lo relativo a la toma de muestras; si se considera que el material del corte es heterogéneo, se deberán hacer sondeos intermedios con objeto de definir mejor las características de las formaciones naturales.

c) Las herramientas y materiales que se emplean en la obtención de muestras alteradas se ilustran en la Figura Núm. 4 y generalmente son:

Picos.

Palas.

Barretas.
Pulsetas.
Posteadoras.
Barrenas helicoidales.
Tubos galvanizados para extensiones.
Llaves stillson.
Estufa o lámpara para secado.
Brochas.
Bolsas de lona ahulada.
Lona ahulada de tres (3) metros por lado, a
proximadamente.
Frascos o cápsulas de aluminio con tapa.
Cinta métrica de lienzo de veinte (20) me
tros.
Flexómetro.
Cordel.
Brea.
Parafina y
Cinta adhesiva.

- d) Los procedimientos de muestreo, de acuerdo con el lugar donde se obtengan las porcio
nes representativas, serán como sigue:
- d1) Las muestras superficiales se tomarán a profundidades variables del orden de un (1) metro; este muestreo puede ser aplicable para los estudios del terreno de cimentación y algunos préstamos o bancos. En este caso se eliminan primeramente los materiales extraños que existan en la zo
na elegida y cuando sea necesario también se descartará la parte superficial intemperizada o con alto contenido de materia orgánica; a continuación, utilizando el e
quipo apropiado, se efectúa una excavación depositando en una lona el material extraído o parte de él, del cual se obtie
ne por cuarteo una muestra de cuarenta

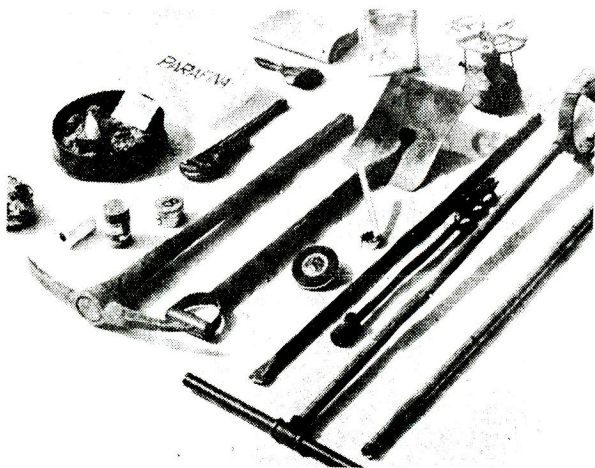


Figura Núm. 4. Herramientas para la obtención de muestras alteradas.

(40) kilogramos, aproximadamente.

d2) Para el muestreo a mayor profundidad de la indicada en el subpárrafo d1) anterior, se excava un pozo a cielo abierto y se muestrean los estratos en una de las paredes del mismo, en la forma que se indica en el subpárrafo d3) siguiente; también se puede obtener la muestra o muestras del material que se extraiga al hacer una perforación con herramientas especiales, Figura Núm. 5. Estos procedimientos de muestreo son lo que comúnmente se emplean para el estudio de bancos de materiales, de cimentaciones superficiales y del terreno en general cuando su naturaleza lo permita.

d3) Para la obtención de las muestras de una pared de excavación, de un frente natural



Figura Núm. 5. Iniciación de un sondeo con posteadora.

o de uno en explotación, se eliminan primeramente los materiales extraños o la parte superficial intemperizada y a continuación se hace un canal vertical de sección transversal uniforme que abarque todas las capas o estratos; el material extraído se recoge en una lona y por cuarteo se obtiene la muestra de cuarenta (40) kilogramos que por su forma de obtención se denomina muestra integral. En algunos estudios de suelos o de bancos se toman muestras individuales de cada estrato que se atravisese, Figura Núm. 6, para lo cual al efectuar el canal se va separando la

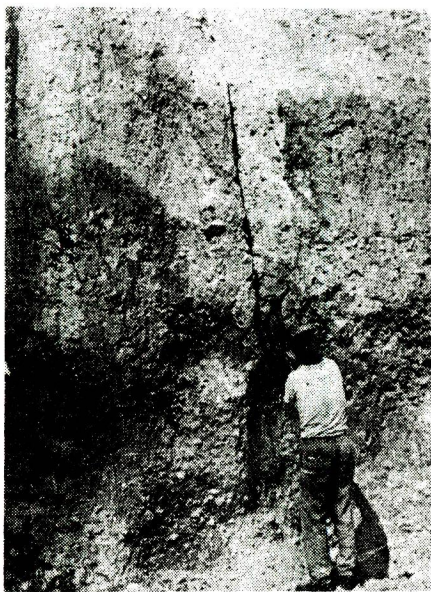


Figura Núm. 6. Muestreo de un banco de materiales practicando un canal en la pared.

parte de material que corresponde a cada estrato y se muestrea cada uno de estos, en la forma antes indicada.

- e) La identificación de las muestras se llevará a cabo según lo indicado en el párrafo (002-B.02.d) de este Capítulo.
- f) Las muestras alteradas se envasarán en bolsas de lona, Figura Núm. 7, cerrándolas convenientemente para evitar pérdidas o contaminación y llevarán tarjetas de identificación tanto en su interior, como atadas en la parte exterior. Cuando se requiera de terminar el contenido de agua del suelo en

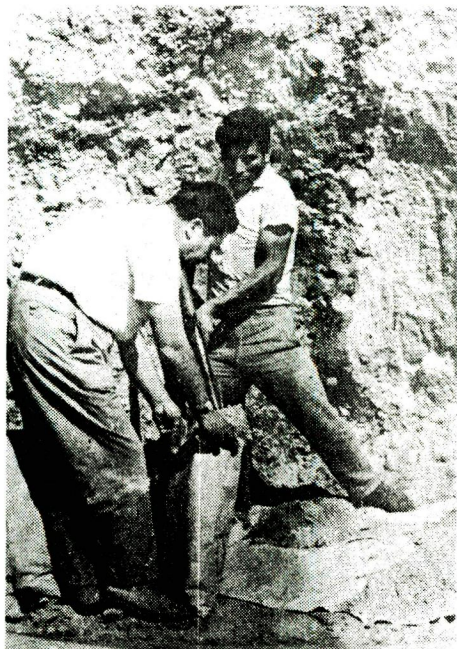


Figura Núm. 7. Envasar de muestras alteradas en bolsas de lona ahulada.

el lugar, se obtendrán muestras de acuerdo con lo indicado en el párrafo (002-E.01.d) de este Capítulo, envasándolas en cápsulas de aluminio o bien en frascos de tamaño adecuado y que no propicien la evaporación del agua, cuyas tapas deberán quedar selladas perfectamente, mediante la aplicación de cinta adhesiva o de un baño de brea y parafina.

- g) El transporte de las muestras se hará en forma cuidadosa sin exponerlas a sufrir alteraciones y en el caso de usar frascos de vidrio, a fin de evitar que se rompan, se

empacarán éstos en cajas de madera rellenas de los espacios libres con aserrín, papel, paja, o material similar.

- h) Al recibirse las muestras en el laboratorio deben registrarse asignándoles un número de identificación para su ensaye.

002-C PROCEDIMIENTOS PARA LA CLASIFICACION DE FRAGMENTOS DE ROCA Y DE SUELOS

002-C.01 La clasificación de fragmentos de roca y de suelos, consistirá en hacer la determinación de algunas de sus propiedades físicas y mecánicas, con objeto de estimar su posible utilidad en la construcción de terracerías.

- a) La identificación de los fragmentos de roca se llevará a cabo de acuerdo con lo indicado en el inciso (002-C.04) de esta Cláusula, tomando en consideración su tamaño, forma, textura, grado de alteración, etc. Una vez identificados los fragmentos se clasificarán, en cuanto a su tamaño, de acuerdo con lo que se indica en el inciso (002-B.01) del Libro 4.
- b) Los suelos podrán clasificarse en el laboratorio mediante las pruebas de Granulometría y Límites de Plasticidad descritas en las cláusulas (002-H) y (002-I), respectivamente de esta Parte y de acuerdo con lo que se indica en el capítulo (01.01.002) del Libro 4. Cuando no sea posible efectuar la clasificación de los suelos por los procedimientos indicados anteriormente, o bien, cuando se requiera identificarlos en forma aproximada, se aplicarán los procedimientos que se describen en el inciso (002-C.05) de este Libro 6.
- c) En los materiales constituidos por mezclas

de fragmentos de roca y suelos, estas fracciones deberán separarse previamente para efectuar su clasificación, tomando como base la malla Núm. 75.0. Para la clasificación se atenderá a lo indicado en los párrafos a) y b) anteriores.

002-C.02 El equipo necesario para efectuar la extracción de las muestras y las pruebas de clasificación, será el siguiente:

- Picos.
- Palas.
- Barretas.
- Pulsetas.
- Posteadoras.
- Marros.
- Cinceles.

Mazo de madera con peso aproximado de un (1) kilogramo, de forma prismática cuadrangular, con una altura de quince (15) centímetros y base de nueve punto cinco (9.5) centímetros por lado, cuyo mango deberá estar situado en la cara opuesta a la base y ésta última estará forrada con cuero o vaqueta, sujeta a los lados del mazo por medio de clavos y cinchos metálicos.

Cepillo de cerdas.

Lonas ahuladas de tres (3) metros por lado, aproximadamente.

Flexómetro.

Mallas de aberturas cuadradas Núms.: 75.0, 4.75, 0.425 y 0.075.

Vaso de aluminio de un (1) litro de capacidad.

Agitador formado por una (1) varilla metálica de seis (6) milímetros de diámetro y

veinte (20) centímetros de longitud.

Cucharón de lámina.

Charolas de lámina.

Lámpara de gasolina o fuente similar de calor.

Cubeta de cinco (5) litros de capacidad, aproximadamente.

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

002-C.03 La obtención y preparación de la muestra de fragmentos de roca mezclados con suelos para su identificación y clasificación, se efectuará como sigue:

- a) Se selecciona una zona representativa de la formación rocosa, banco, almacenamiento de materiales, etc., que se desea estudiar y se despeja en ésta un área de dimensiones adecuadas, de acuerdo con el tamaño máximo del material, que permita hacer observaciones para su identificación.
- b) Se delimita el lugar de obtención de la muestra y se extrae todo el material que se pueda remover con herramienta de mano. Cuando sea posible se tomará una muestra integral de los estratos, de acuerdo con lo que se indica en el párrafo (002-B.03.d) de este Capítulo.
- c) Se extiende el material extraído sobre una lona y se deja orear, removiéndolo, hasta que permita su cribado.
- d) Se separan sobre otra lona los fragmentos retenidos en la malla Núm. 75.0. Se disgregan con el mazo los grumos de suelo que no pasan por la malla del tamaño mencionado, se criban nuevamente por dicha malla y se a

gregan las porciones obtenidas a sus respectivas fracciones. El material que por sus grandes dimensiones no puede ser extraído de la excavación, con herramienta de mano, adicionado al retenido en la malla Núm. 75.0, constituye los fragmentos de roca; la porción que pasa por la malla referida es la que se denomina suelo.

- e) Se estiman los porcentajes en volumen de las fracciones que constituyen los fragmentos de roca V_f y de suelo V_s , con respecto a la suma de sus volúmenes V_t .

002-C.04 La identificación de los fragmentos de roca se hará considerando lo siguiente:

- a) Se estiman los tamaños de los fragmentos de roca tomando en cuenta su mayor dimensión, como se indica a continuación:
 - a1) Fragmentos comprendidos entre setenta y cinco (75) centímetros y dos (2) metros.
 - a2) Fragmentos comprendidos entre veinte (20) centímetros y setenta y cinco (75) centímetros.
 - a3) Fragmentos comprendidos entre siete punto cinco (7.5) centímetros y veinte (20) centímetros.
- b) Se determinan en forma aproximada los porcentajes de cada uno de los grupos de fragmentos mencionados con relación al volumen total V_t , y con ellos se clasifican los fragmentos de roca, de acuerdo con lo indicado en el inciso (002-E.01) del Libro 4 de estas Normas.
- c) Se estiman en los fragmentos de las diferentes fracciones, la forma, tipo de aristas, textura de la superficie, densidad y grado de alteración, utilizando para describirlos,

términos cualitativos como los que a continuación se indican:

- c1) La forma se indicará si es equidimensional, lajeada o ascular (forma de aguja).
- c2) Las aristas se designarán como redondeadas, subredondeadas, subangulosas o angulosas.
- c3) La textura de la superficie se calificará como lisa, rugosa o muy rugosa. Cuando los fragmentos sean francamente porosos se hará notar también esta característica.
- c4) La densidad sólo se indicará cuando ésta sea baja o alta, designando al material como ligero o pesado, respectivamente.
- c5) En cuanto al grado de alteración, los fragmentos se describirán como sanos, alterados o muy alterados.
- d) Se estima la clasificación petrográfica mediante la observación de los diferentes fragmentos que constituyen la muestra del material analizado.
- e) Se reportan los resultados de la identificación y de las observaciones realizadas, utilizando para ello la forma del modelo que se indica en la Figura Núm. 10.

002-C.05 La identificación aproximada de los suelos se efectuará mediante las pruebas de granulometría, dilatación, tenacidad y resistencia en estado seco, ejecutadas de acuerdo con los procedimientos que a continuación se indican:

- a) La prueba de granulometría se realiza en la forma descrita en el inciso (002-H.03) de este Capítulo, excepto que no se determina el tamaño máximo del material ni el porcentaje de la fracción que pasa la malla Núm.

0.425.

b) La prueba de dilatancia se hará como sigue:

b1) Se toma una muestra representativa del suelo en cantidad suficiente para obtener mediante cribado cien (100) gramos, aproximadamente, del material que pasa la malla Núm. 0.425; en caso de que no sea posible efectuar el cribado anterior se seleccionará manualmente el material fino equivalente para realizar la prueba.

b2) De la fracción que pasa la malla Núm. 0.425, se toma una porción con volumen aproximado de diez (10) centímetros cúbicos, se deposita en la mano, se le agrega agua en cantidad adecuada y se amasa hasta obtener una mezcla de consistencia suave que no presente flujo; si al efectuar esta operación se excede la cantidad de agua agregada, se extiende la mezcla en la mano y se forma con ella una capa delgada que permita la pérdida por evaporación del exceso de agua. Una vez obtenida en la mezcla la consistencia deseada, se forma con ella una pastilla como la que se muestra en la Figura Núm. 8.

b3) Se sujeta suavemente la pastilla en la palma de la mano contrayendo ésta ligeramente, se sacude la pastilla en dirección horizontal, golpeando varias veces y en forma vigorosa la mano que contiene la pastilla contra la otra mano, para provocar la salida del agua a la superficie de la pastilla, lo cual queda de manifiesto cuando dicha superficie toma una apariencia lustrosa; al ocurrir ésto, se presiona ligeramente la pastilla con los dedos para provocar que el agua desaparezca de

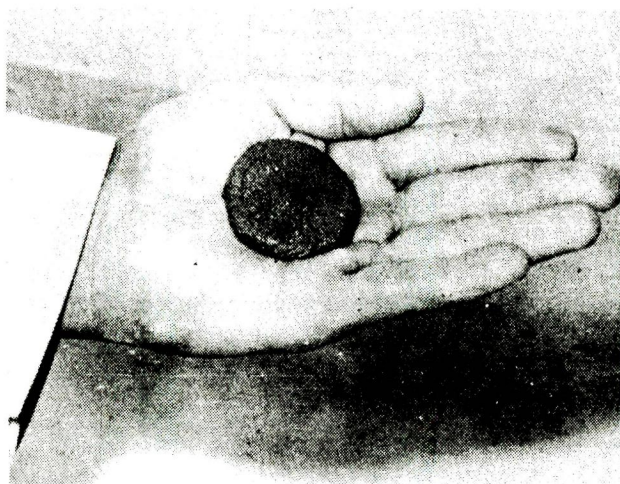


Figura Núm. 8. Forma de la pastilla para la prueba de dilatación.

la superficie y ésta pierda su lustre.

- b4) Se estima la rapidez con que la superficie de la pastilla toma la apariencia luz trosa al golpear, así como la rapidez con que desaparece ese lustre al presionarla y de acuerdo con lo anterior, se reporta la dilatación como nula, muy lenta, lenta o rápida.
- b5) Al efectuar esta prueba deberá tenerse especial cuidado de incorporar a la mues tra la cantidad de agua adecuada para ob tener la consistencia indicada y también de sacudir la pastilla de manera uniforme. Se recomienda no prolongar la prueba a más de treinta (30) golpes, si la superfi cie de la pastilla no toma la apariencia lustrosa.

c) La prueba de tenacidad se hará como sigue:

c1) Se forma una masilla con la fracción de suelo que pasa la malla Núm. 0.425, siguiendo los procedimientos indicados en los subpárrafos b1) y b2) del párrafo b) anterior.

c2) Se toma una porción de la masilla y se rola con la mano, hasta formar un rollito con diámetro aproximado de tres (3) milímetros; se amasa y se vuelve a formar el rollito, repitiéndose esta operación varias veces para que la masilla pierda el exceso de agua, hasta que el rollito finalmente se fragmente, lo que indica que el suelo tiene una humedad cercana a la del límite plástico.

c3) Inmediatamente después se juntan las fracciones del rollito y se amasan ligeramente con los dedos hasta que la masilla se desmorone.

c4) Se estima la resistencia que dicha masilla oponga al remoldeo, así como el tiempo que tarda en desmoronarse, calificando y reportando lo estimado como tenacidad nula, ligera, media o alta.

d) La prueba de resistencia en estado seco se efectuará como sigue:

d1) Se forma una masilla con la fracción de suelo que pasa la malla Núm. 0.425, siguiendo el procedimiento indicado en los subpárrafos b1) y b2) del párrafo b) de este inciso.

d2) Se toma una porción de la masilla y se forma manualmente una pastilla de cuatro (4) centímetros de diámetro y un (1) centímetro de espesor, aproximadamente, como

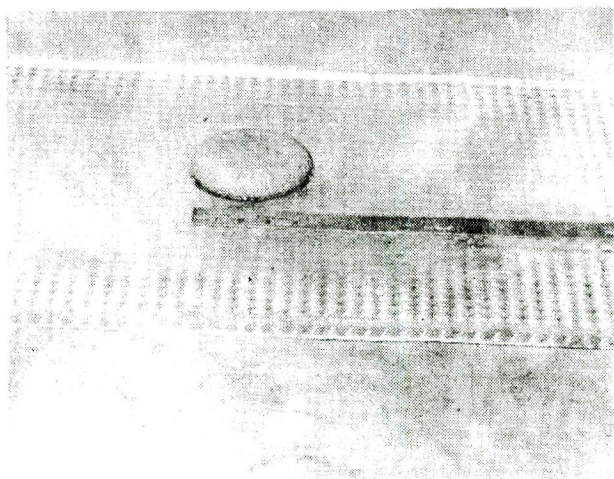


Figura Núm. 9. Forma de la pastilla para la prueba resistencia en estado seco.

se muestra en la Figura Núm. 9.

- d3) Se deja la pastilla en un medio adecuado para que pierda humedad, hasta que se considere prácticamente seca; a continuación, se rompe y se desmorona con los dedos. Si al romper la pastilla se le observa humedad, se secan los fragmentos y en seguida se rompen y desmorona.
- d4) Se estima la dificultad que presente la pastilla al romperse y desmoronarse y se reporta la resistencia en estado seco, como nula, ligera, media, alta o muy alta.
- e) Con base en los resultados de las pruebas indicadas en los párrafos a), b), c) y d) de este inciso, se clasifican los suelos en forma aproximada de acuerdo con lo indicado en la Tabla II, de esta Cláusula y se reportan los resultados utilizando la forma indi

CLASIFICACION
APROXIMADA DE
SUUELOS EN EL
CAMPO

• LOS SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS QUE TENGAN LAS CARACTERISTICAS DE DOS (2) GRUPOS SE DESIGNAN CON LA COMBINACION DE LOS SIMBOLOS CORRESPONDIENTES. POR EJEMPLO, GW-GC REPRESENTA UNA MEZCLA DE GRAVA Y ARENA BIEN GRADUADA CON ARCILLA.

• LOS SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS QUE TENGAN LAS CARACTERISTICAS DE DOS (2) GRUPOS SE DESIGNAN CON LA COMBINACION DE LOS SIMBOLOS CORRESPONDIENTES. POR EJEMPLO, GW-GC REPRESENTA UNA MEZCLA DE GRAVA Y ARENA BIEN GRADUADA CON ARCILLA.

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

CLASIFICACION DE CAMPO DE FRAGMENTOS DE ROCA Y SUELOS			
OBRA: _____	FECHA: _____		
LOCALIZACION: _____	LABORATORISTA: _____		
MUESTRA: _____	FRAGMENTOS V_f : _____ % VOLUMEN		
SONDEO: _____	PROFUNDIDAD: _____	SUELO V_s : _____ % VOLUMEN	

CARACTERISTICAS	T A M A Ñ O S		
	GRANDES	MEDIANOS	CHICOS
	DE 75 cm A 2m	DE 20cm A 75cm	DE 7.5 cm A 20cm
PORCENTAJE (En volumen)			
FORMA (Equidimensional, lajeada, escudricular)			
ARISTAS (Redondeadas, subredondeadas, subangulosas, angulosas)			
TEXTURA (Lisa, rugosa, muy rugosa)			
DENSIDAD ESTIMADA (Material ligero o pesado)			
GRADO DE ALTERACION (Material sano, alterado o muy alterado)			
CLASIFICACION PETROGRAFICA ESTIMADA: _____			
CLASIFICACION DE LOS FRAGMENTOS: _____			

S U E L O S	
GRAVA, % EN PESO: _____	DILATANCIA: _____
ARENA, % EN PESO: _____	TENACIDAD: _____
FINOS, % EN PESO: _____	RESISTENCIA EN ESTADO SECO: _____
CLASIFICACION DE FINOS: _____	
CLASIFICACION DEL SUELO: _____	
CLASIFICACION DEL MATERIAL: _____	

FIGURA NUM. 10. FORMA DE REPORTE PARA CLASIFICACION DE CAMPO.

cada en la Figura Núm. 10.

002-C.06 Cuando se trate de materiales constituidos por mezclas de fragmentos de roca y suelos, una vez que se han clasificado por separado las dos (2) fracciones como se indica en los incisos (002-C.04) y (002-C.05) de este Capítulo, se clasifican dichos materiales combinando los símbolos que corresponden a las fracciones que los integran, de acuerdo con lo indicado en el cuadro No. 1, relativo a suelos del inciso (002-B.01) del Libro 4.

002-D PREPARACION DE LAS MUESTRAS

002-D.01 La preparación de las muestras alteradas comprende las operaciones de secado, disgregación y cuarteo, que son necesarias para obtener las porciones representativas en condiciones adecuadas para efectuar los ensayos correspondientes. Las muestras inalteradas requieren la operación de labrado, la cual se llevará a cabo de acuerdo con las pruebas a que vaya a someterse el material, debiendo extremarse las precauciones con objeto de no cambiar su estructura y contenido de agua.

002-D.02 El secado tiene por objeto facilitar la disgregación y manejo de las muestras y cuando éstas contienen una humedad tal que permita su fácil disgregación no será necesario someterlas a este proceso.

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

Charolas de lámina.

Cucharón de lámina.

Pala rectangular.

Horno provisto de termostato con capacidad de ciento cinco más menos cinco grados centígrados ($105 \pm 5^{\circ}\text{C}$) y dimensiones adecuadas para alojar las charolas.

- b) El secado de las muestras podrá ser al sol o en el horno. En el primer caso, se extienen

de la muestra en las charolas o sobre una superficie sensiblemente horizontal, lisa y limpia, para que sea fácil recogerla y evitar la pérdida de finos, así como la contaminación con materiales extraños. Cuando se use el horno, deberá controlarse la temperatura de tal modo que ésta sea del orden de sesenta grados centígrados (60°C). En ambos casos se revuelve periódicamente el material para lograr un secado más rápido y uniforme, hasta reducir su humedad a un grado tal que permita su fácil disgregación.

c) Al efectuar esta operación deberán tomarse las siguientes precauciones, con el fin de evitar resultados erróneos en las pruebas subsecuentes:

c1) El secado de las muestras no deberá efectuarse a temperatura elevada, porque podrían alterarse ciertas características del material, tales como su plasticidad, su contenido de materia orgánica, etc.

c2) Tratándose de materiales con porcentajes elevados de finos plásticos, se evitará el secado total debido a que éste da lugar a la formación de grumos no fáciles de disgregar, los cuales dificultan el lavado de la muestra y su paso a través de la malla Núm. 0.075.

002-D.03 La disgregación tiene por objeto separar las diferentes partículas que constituyen la muestra cuando ésta contiene grumos. Esta operación es relativamente fácil cuando se refiere a materiales granulares poco cementados, aumentando su dificultad a medida que va siendo mayor la cementación o cuando se trata de rocas alteradas; en estos casos, las partículas del material se separan con el proceso de disgregación, hasta quedar parcial o totalmente reducidas a material fino. La dis

gregación de la muestra deberá efectuarse sin tratar de romper las partículas duras, llevándose a un grado tal que permita reproducir en lo posible las condiciones de utilización del material en el campo.

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

Mazo de madera como se describe en el inciso (002-C.02) de este Capítulo.

Charolas de lámina.

Báscula de ciento veinte (120) kilogramos de capacidad con aproximación de diez (10) gramos.

Mallas con aberturas cuadradas Núms. 75.0, 50.0, 25.0, 9.5 y 4.75.

- b) La disgregación se efectuará como sigue:

b1) Una vez secada la muestra por alguno de los procedimientos que se indican en el inciso (002-D.02) de este Capítulo, se determina su peso con aproximación de diez (10) gramos y se anota su valor.

b2) Se criba el material por la malla Núm. 4.75, apartando la fracción que pasa esta malla para desmenuzar los grumos retenidos en ella, dándole un ligero maceo; a continuación, se criba todo el retenido en dicha malla, por la Núm. 75.0 y la fracción que se retiene en ésta se coloca en charolas de lámina sobre una mesa y se macea, aplicando golpes verticalmente, desde una altura aproximada de veinte (20) centímetros, hasta obtener partículas que ya no sean disgregables, Figura Núm. 11. El material así tratado se criba nuevamente por la malla Núm. 75.0 y la fracción que se retiene, se pesa con aproximación de diez (10) gramos, se anota su peso se



Figura Núm. 11, Disgregación del material con el mazo de madera.

calcula su porcentaje con relación al peso total de la muestra y se elimina. El material que pasa dicha malla se junta con el que inicialmente la pasó y se criba por la malla Núm. 50.0, la fracción retenida se macea en la forma indicada anteriormente y a continuación se criba por la malla Núm. 50.0, separando el retenido en dicha malla y el que la pasa se junta con el que inicialmente pasó la misma malla. El procedimiento de maceo y cribado indicado para la malla Núm. 50.0 se repite en forma sucesiva para las mallas Núms. 25.0, 9.5 y 4.75. Por último, se integrará la muestra con todos los productos obtenidos en estas operaciones para posteriormente proceder al mezclado y cuarteo de la misma. El cuadro de la Figura Núm. 12, muestra esquemáticamente el proceso

MUESTRA SECADA AL SOL O EN HORNO A 40°-60° C

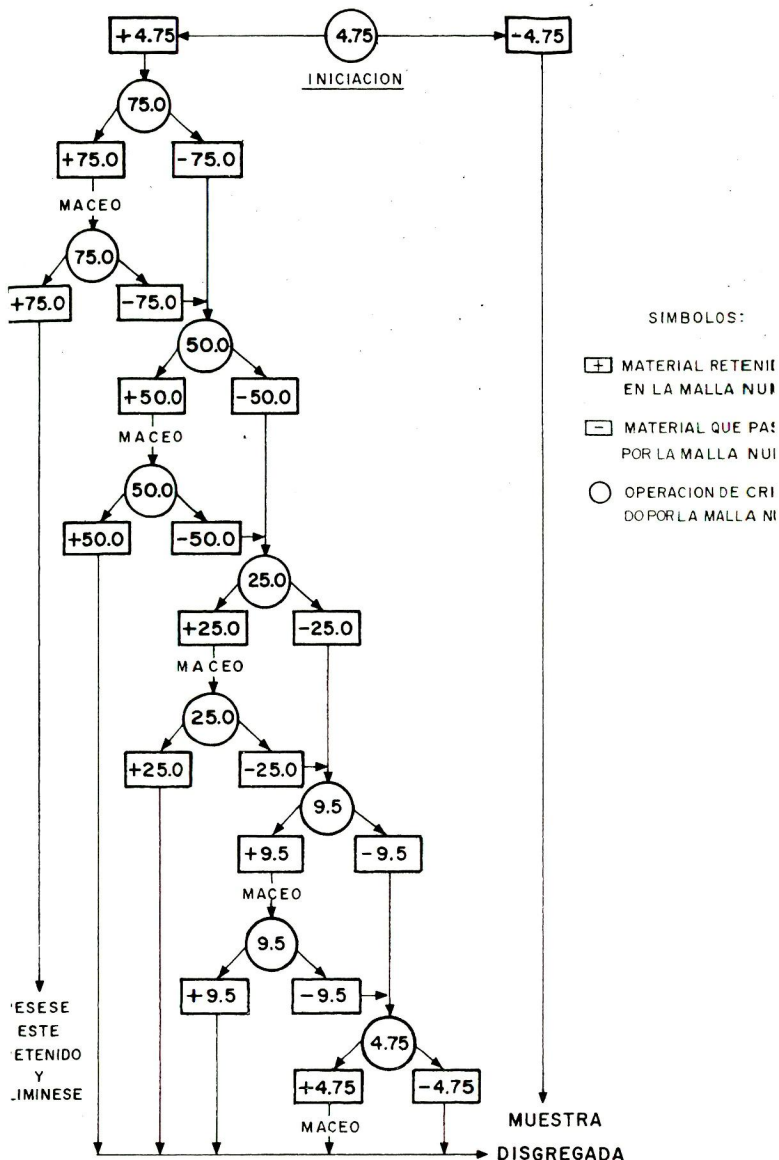


FIGURA NUM. 12. CUADRO ESQUEMATICO DE DISGREGACION DE LA MUESTRA.

de disgregación.

- c) Cuando las pruebas por ejecutar lo requieran, el material que pasa la malla Núm. 4.75 deberá ser disgregado a tamaños menores conforme se indique en cada prueba.

002-D.04 El cuarteo tiene por objeto obtener de una muestra porciones representativas de tamaño adecuado para efectuar las pruebas de laboratorio que se requieran.

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

Báscula de ciento veinte (120) kilogramos de capacidad, con aproximación de diez (10) gramos.

Palas de forma rectangular.

Brocha.

Hule o lona ahulada rectangular de ciento cincuenta (150) centímetros por lado, como mínimo.

Regla de dimensiones adecuadas al volumen por cuartear.

Charolas de lámina de forma rectangular y dimensiones apropiadas.

Cucharón de lámina.

Partidor de muestras, Figura Núm. 13 con aberturas en los ductos separadores, de uno punto cinco (1.5) veces, aproximadamente, el tamaño máximo de las partículas de la muestra, equipado con tres (3) recipientes para depositar el material separado, y un cucharón plano.

Charola de lámina de forma y dimensiones adecuadas para recibir el material que escape del partidor.

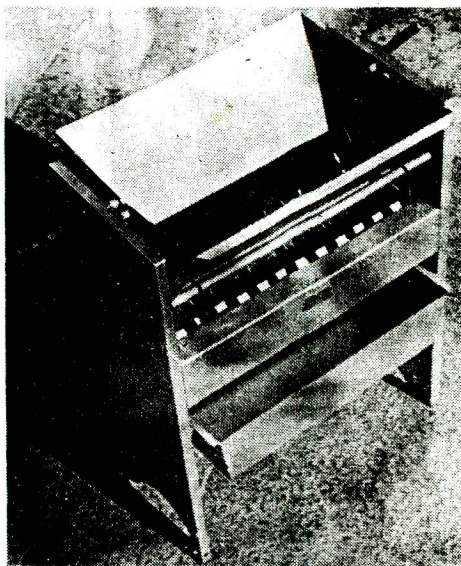


Figura Núm. 13. Partidor de muestras.

- b) Para efectuar el cuarteo se deberá seguir alguno de los procedimientos que se indican a continuación:
- b1) Formando un cono con la muestra para seccionarlo por cuadrantes. Para ésto se revuelve primero todo el material hasta que presente un aspecto homogéneo, traspaleando de un lugar a otro unas cuatro (4) veces sobre una superficie sensiblemente horizontal, lisa y limpia. Se procederá después a formar el cono, depositando con la pala el material en el vértice del mismo, permitiendo que dicho material por sí solo busque su acomodo y procurando a la vez que la distribución se haga uniforme

mente, Figura Núm. 14. El cono formado se transformará en cono truncado, encajando la pala del vértice hacia abajo y haciéndola girar alrededor del eje del cono, con el fin de ir desalojando el material hacia la periferia hasta dejarlo con una altura de quince (15) a veinte (20) centímetros, Figura Núm. 15; en seguida dicho cono truncado se dividirá y separará en cuadrantes por medio de una regla de dimensiones adecuadas, Figura Núm. 16. Se mezclará el material de dos cuadrantes opuestos, Figura Núm. 17 y con éste, en caso de ser necesario, se repite el procedimiento anterior sucesivamente, hasta obtener la muestra del tamaño requerido. Se deberá tener cuidado de distribuir y de no perder el material fino en cada operación de cuarteo, con ayuda de la brocha.

- b2) Utilizando el hule o la lona ahulada. En este caso el material se deposita sobre el hule o lona ahulada y se mezcla levantando dos de sus vértices opuestos, haciéndolo rodar sin que resbale. Se repite la misma operación con los otros dos vértices y así sucesivamente, hasta lograr una mezcla homogénea del material, el cual se cuarteo formando un cono truncado y dividiéndolo en cuadrantes, en forma semejante a la indicada en el subpárrafo b1), de este párrafo, procurando que los ejes de división sean paralelos a los lados de la lona.
- b3) Empleando un partidor de muestras, como el que se ilustra en la Figura Núm.13. Este aparato se utiliza generalmente en muestras menores de cien (100) kilogramos; en

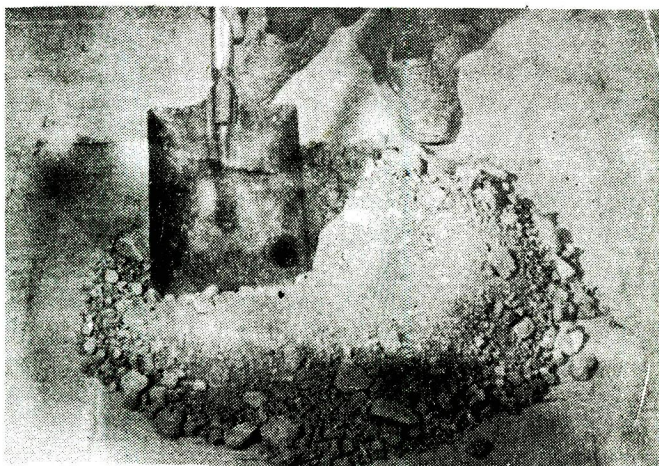


Figura Núm. 14. Formación del cono de material con la pala.



Figura Núm. 15. Operación de la pala para formar el cono truncado.



Figura Núm. 16. División de la muestra de suelo en cuadrantes.



Figura Núm. 17. Obtención de la muestra final de los cuadrantes opuestos.



Figura Núm. 18. Operación de cuarteo con el partidor.

caso de muestras de mayor tamaño, deberán ser reducidas previamente al tamaño mencionado, empleando el procedimiento de cuarteo que se describe en el subpárrafo b1) de este párrafo. En este procedimiento se mezcla cuidadosamente la muestra que se va a dividir y se extiende uniformemente sobre la charola de igual longitud que la tolva del partidor y a continuación se vierte sobre éste, procurando que pasen cantidades similares a través de cada uno de los ductos, quedando en esta forma la muestra dividida en dos por

ciones que se depositan a la salida de los dos grupos de ductos en los recipientes laterales del partidador, lo cual constituye la primera separación. Si la cantidad de muestra así obtenida es mayor que la requerida, se repite este procedimiento con una de las porciones separadas, hasta obtener una muestra del tamaño necesario, pero limitando las aplicaciones del partidador a un número no mayor de tres (3). Si después de esta operación la muestra sigue siendo de tamaño mayor que la requerida, se le aplicará el procedimiento de cuarteo descrito en el subpárrafo b1) de este párrafo, para obtener el tamaño adecuado.

- b4) En el caso de muestras pequeñas, generalmente de material fino, el cuarteo se efectúa sobre una mesa que tenga una superficie lisa y limpia, mezclando el material con el cucharón y siguiendo un procedimiento semejante al descrito en el subpárrafo b1) de este párrafo.

002-E DETERMINACION DE LA HUMEDAD O CONTENIDO DE AGUA DE LOS SUELOS

002-E.01 Para la determinación de la humedad o contenido de agua de los suelos, se tomará en cuenta lo siguiente:

- a) La humedad o contenido de agua de un suelo es la relación expresada en por ciento, entre el peso del agua que tiene el suelo y el peso de sus partículas sólidas. Para los fines de esta prueba el contenido de agua es el peso que pierde la muestra al someterla a un proceso de secado en horno a ciento cinco más menos cinco grados centígrados

($105 \pm 5^{\circ}\text{C}$) y el peso de las partículas sólidas es el que tiene la muestra después de someterla a dicho proceso. Su determinación proporciona una información complementaria y en ciertos casos constituye una etapa fundamental de otras pruebas que se efectúan a los suelos. Por otra parte, el conocimiento del contenido natural de agua de un suelo en algunas ocasiones puede dar idea cualitativa de su consistencia o de su probable comportamiento.

- b) La determinación de la humedad se efectuará siguiendo el procedimiento de prueba estándar descrito en el inciso (002-E.02) de esta Cláusula, o bien cuando no se requiera mucha exactitud, se podrá aplicar la prueba rápida que se describe en el inciso (002-E.03) de esta Cláusula.
- c) La muestra que se destine para la prueba deberá tomarse de tal manera que sea representativa del material cuyo contenido de agua se desea obtener. Cuando se trate de conocer la humedad natural de un suelo, es conveniente que al tomar en el campo la muestra se determine de inmediato el peso inicial del material húmedo incluyendo el del recipiente; en la obtención y transporte de la muestra al laboratorio para determinar su humedad, deberán observarse las precauciones indicadas en el inciso (002-B.03) de este Capítulo.
- d) El tamaño de la muestra para la determinación de la humedad será la indicada en el método de prueba correspondiente; si no hay indicación al respecto, los pesos mínimos estarán de acuerdo con lo siguiente:

TAMAÑO MAXIMO DEL MATERIAL, EN MILIMETROS	PESO MINIMO DE LA MUESTRA, EN GRAMOS
--	---

4.75	(pasa malla No. 4.75)	100
25.0	(pasa malla No. 25.0)	500
50.0	(pasa malla No. 50.0)	1000

002-E.02 La prueba estándar para la determinación de la humedad o contenido de agua, consiste en obtener una muestra de suelo cuyo peso estará de acuerdo con lo indicado en el párrafo (002-E.01.d), de esta Cláusula, someterla a un proceso de secado al horno y determinar la relación que existe entre el peso del agua que con tiene y el peso seco del material.

a) El equipo y materiales necesarios serán los que se indican a continuación:

Balanza con aproximación de un centésimo (0.01) de gramo, para muestras que pesen hasta cien (100) gramos; balanza con aproximación de un décimo (0.1) de gramo para muestras que pesen entre cien y mil (100 - 1000) gramos, o bien, balanza con aproximación de un (1) gramo, para muestras que pe sen más de mil (1000) gramos

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

Recipientes con tapa, de tamaño adecuado, de material resistente a la corrosión y a las altas temperaturas.

Desecador de cristal, Figura Núm. 19, y

Cloruro de calcio anhidro, para desecador.

b) El procedimiento de prueba será el siguien te:

b1) Se pesa un recipiente limpio y seco, con



Figura Núm. 19. Desecador de cristal

su tapa y se anota este peso como W_t , en gramos.

- b2) Se coloca la muestra de suelo húmedo en el recipiente, se tapa e inmediatamente después, se determina su peso incluyendo el del recipiente y se registra este peso como W_1 , en gramos.
- b3) Posteriormente se quita la tapa al recipiente y se mantiene la muestra en el horno a una temperatura de ciento cinco más menos cinco grados centígrados ($105 \pm 5^\circ\text{C}$), hasta obtener un peso constante, lo cual puede ocurrir en un lapso aproximado de dieciseis (16) horas. En caso de suelos que contengan materia orgánica o mine

porcentajes en función de volúmenes.

b) Las características granulométricas de un suelo influyen en la mayor o menor facilidad para lograr una compactación adecuada y tienen importancia en su comportamiento mecánico, principalmente en los suelos gruesos. Generalmente, la mayor estabilidad de un suelo se alcanza cuando la cantidad de vacíos es mínima y para que esta condición pueda lograrse, se requiere que el material tenga una sucesión adecuada de tamaños que permita que los huecos resultantes del acomodo de las partículas mayores, sean ocupados por partículas menores y que a su vez, los huecos que dejan estas últimas sean ocupados por partículas más finas y así sucesivamente.

c) La prueba tiene dos (2) variantes, el análisis granulométrico estándar y el análisis granulométrico simplificado, los cuales se describen en los incisos (002-H.02) y (002 H.03), respectivamente, de este Capítulo.

002-H.02 El análisis granulométrico estándar consiste esencialmente en separar y clasificar por tamaños las partículas que componen el suelo, utilizando el procedimiento de cribado, es decir, haciendo pasar el material a través de un juego de mallas de aberturas cuadradas que comprende de la Núm. 75.0 a la Núm. 0.075, como se indica más adelante.

a) El equipo y materiales necesarios son los siguientes:

Balanza de veinte (20) kilogramos de capacidad y cinco (5) gramos de aproximación.

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

Charolas de lámina.

Cucharón de lámina.

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

Cepillo de cerdas.

Cepillo de alambre delgado.

Desecador de cristal.

Juego de mallas de las siguientes designaciones: Núms. 75.0, 50.0, 37.5, 25.0, 19.0, 12.5, 9.5, 4.75, 2.00, 0.850, 0.425, 0.250, 0.150, y 0.075.

Tapa y fondo para el Juego de mallas.

Vaso de aluminio de un (1) litro.

Agitador de varilla metálica de seis (6) milímetros de diámetro y veinte (20) centímetros de longitud.

Agitador mecánico del tipo Ro-tap.

Cloruro de calcio anhidro.

b) La preparación de la muestra deberá hacerse como sigue:

b1) De cada muestra obtenida como se indica en la cláusula (002-B) de este Capítulo y preparada como se describe en la cláusula (002-D) del mismo, se obtiene por cuarteo una porción representativa con peso aproximado de quince (15) kilogramos, el cual se determina y se anota como W_m , con aproximación de un (1) gramo.

b2) Una vez preparada la muestra como se indica en el subpárrafo b1) de este párrafo, se criba el material por la malla Núm. 4.75, para separarlo en dos (2) fraccio

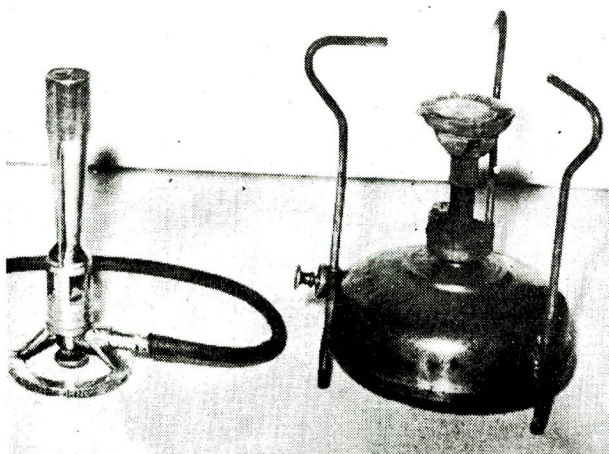


Figura Núm. 20. Fuentes de calor de flama abierta

- b) Para efectuar la prueba deberá seguirse el procedimiento que a continuación se indica:
 - b1) Se pesa un recipiente limpio y seco y se registra este peso como W_t , en gramos.
 - b2) Se coloca la muestra de suelo húmedo en el recipiente e inmediatamente después se determina su peso, incluyendo el del recipiente, anotando este peso como W_1 , en gramos.
 - b3) A continuación se coloca en la fuente de calor el recipiente que contiene la muestra, permitiendo la libre evaporación del agua durante el tiempo necesario para que se seque, lo cual se comprueba haciendo pasar repetidamente un vidrio de reloj sobre la muestra, mientras ésta contenga a

gua, se formará una condensación de vapor en la superficie del vidrio. Con el fin de lograr un secado más rápido y uniforme, se recomienda remover moderadamente la muestra dentro del recipiente durante este proceso, evitando pérdidas de material, Figura Núm. 21.

- b4) Una vez que se ha secado la muestra, se retira el recipiente de la flama utilizando las pinzas, se deja enfriar hasta que se pueda pesar la muestra seca con su recipiente, anotándose este peso como W_2 , en gramos.
- c) El contenido de agua se calculará mediante la fórmula indicada en el párrafo (002-E.02.c); de esta Cláusula, expresándolo en por ciento. En caso de suelos que contengan materia orgánica en cantidades importantes o minerales que puedan perder su agua de hidratación o de composición, deberá efectuarse la corrección que se indica en la cláusula (002-F) de este Capítulo.

002-F CORRECCION AL CONTENIDO DE AGUA DETERMINADO CON LA PRUEBA RAPIDA

002-F.01 Esta prueba tiene por objeto corregir el contenido de agua determinado con la prueba rápida, tomando en cuenta el error que puede introducir la presencia de materia orgánica o agua de composición o de hidratación en el material, al eliminarse éstas por un calentamiento excesivo de la muestra.

002-F.02 El equipo necesario para hacer esta determinación será el mismo que se describe en los incisos (002-E.02) y (002-E.03) de este Capítulo, relativos a la determinación de la humedad mediante las pruebas estándar y rápida, respectivamente.

002-F.03 La prueba consistirá en lo siguiente:

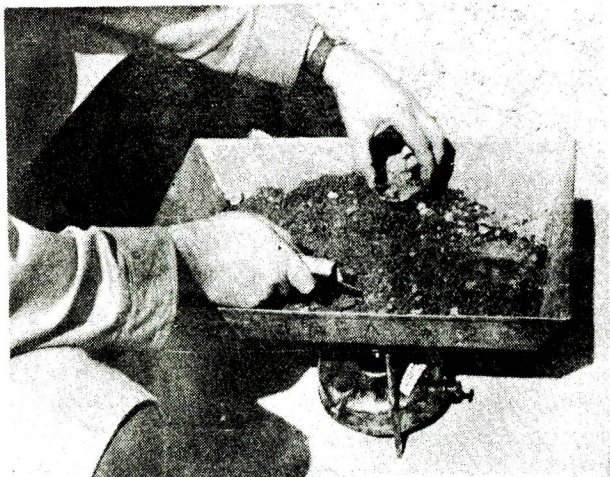


Figura Núm. 21. Operación de secado en la prueba rápida.

- a) Se toman por cuarteo dos (2) porciones de la muestra que se va a ensayar, en las cantidades indicadas en el párrafo (002-E.01. d) de este Capítulo.
- b) A una de estas porciones se le determinará su contenido de agua mediante la prueba estándar, descrita en el inciso (002-E.02), obteniéndose el valor w .
- c) A la otra porción se le determina su contenido de agua por medio de la prueba rápida, descrita en el inciso (002-E.03) de este Capítulo, obteniéndose el valor w_r .

002-F.04 Se calculará la corrección empleando la siguiente fórmula:

$$C = w_r - w$$

En donde:

C es el valor de la corrección, en por ciento.

W_r es el contenido de agua determinado con la prueba rápida, en por ciento.

w es el contenido de agua determinado con la prueba estándar, en por ciento.

002-F.05 Para obtener el contenido real de agua, se resta el valor C de la corrección, al de la humedad obtenida con la prueba rápida en determinaciones en el mismo material. En caso de duda, se efectuarán como mínimo tres (3) determinaciones de la corrección C y se tomará el valor promedio de éstas.

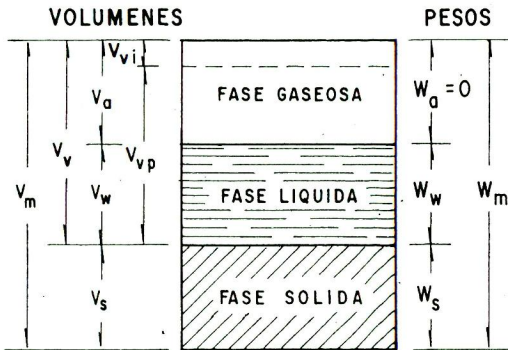
002-G PESOS ESPECIFICOS RELATIVOS Y ABSORCION DE LAS PARTICULAS DE MATERIAL PETREO.

002-G.01 La determinación de los pesos específicos relativos y de la absorción se hará tomando en cuenta los siguientes conceptos.

- a) Se define como peso específico o peso volumétrico de un material, γ_m , a la relación entre el peso del mismo y su volumen.
- b) Se llama peso específico relativo o densidad de un material, S_m , a la relación entre su peso específico en las condiciones de temperatura y presión barométrica del lugar y el peso específico del agua destilada, γ_w , en las mismas condiciones de temperatura y presión barométrica.
- c) El peso y el volumen a que se refieren las definiciones anteriores, se determinan conforme a los diferentes procedimientos descritos en los métodos de prueba, dando origen a varios conceptos de peso específico. En la práctica, en lugar de γ_0 se emplea γ_w , por ser aproximadamente iguales. El

símbolo γ_0 , representa el peso específico del agua destilada a cuatro grados centígrados (4°C) y a una presión barométrica de setecientos sesenta (760) milímetros de mercurio; el valor de γ_0 , es de un (1) gramo por centímetro cúbico.

- d) Se define como absorción de un material pétreo la cantidad de agua que penetra en sus partículas cuando se le deja sumergido en agua a una temperatura de quince a veinticinco grados centígrados ($15 - 25^{\circ}\text{C}$) durante veinticuatro (24) horas y se expresa en por ciento con relación al peso seco del material.
- e) Si se representa esquemáticamente una muestra de suelo o una partícula de material pétreo parcialmente saturadas, formadas por sus fases sólida, líquida y gaseosa, como se indica en la Figura Núm. 22, de acuerdo con lo expresado anteriormente se establecen las siguientes definiciones y relaciones volumétricas y gravimétricas:
 - e1) Volumen de vacíos permeables, V_{vp} , que son los de las partículas en las cuales penetra el agua cuando se le somete a un cierto lapso de inmersión en ésta, estando formado por los huecos permeables o poros propios del material pétreo; en el caso de los suelos se incluyen también en este concepto a los espacios intergranulares. Cuando el material tiene todos sus vacíos permeables llenos de agua se dice que está saturado.
 - e2) Volumen de vacíos impermeables, V_{vi} , que son los de las partículas de un suelo o material pétreo, en los cuales no puede penetrar el agua durante un cierto lapso



es el volúmen total de la muestra
 es el volumen de la fase sólida
 es el volumen de vacíos
 es el volumen de los vacíos impermeables
 es el volumen de los vacíos permeables
 es el volumen de la fase líquida o volumen de agua
 es el volumen de la fase gaseosa o volumen de aire

es el peso total de la muestra
 es el peso de la fase sólida
 es el peso de la fase líquida o peso del agua
 es el peso de la fase gaseosa = 0

FIGURA NUM. 22. ESQUEMA DE UNA MUESTRA DE SUELO O DE UNA PARTICULA DE MATERIAL PETREO.

de inmersión en ella.

- e3) Volumen de vacíos, V_v , que es la suma de los vacíos permeables y de los vacíos im permeables de un suelo o material pétreo.
- e4) Peso específico del suelo o del material pétreo, γ_m , en gramos por centímetro cú bico.

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m} = \frac{W_s + W_w}{V_s + V_{vi} + V_{vp}}$$

En este caso se considera el volumen to tal del suelo o material pétreo, designán dose comúnmente al peso específico, γ_m , como peso volumétrico, el cual se acostun bra expresarlo en kilogramos por metro cú bico. En la práctica el volumen impermea ble, V_{vi} , se considera incluido en el vo lumen de sólidos, V_s , ya que es difícil determinarlo separadamente.

- e5) Peso específico del suelo o del material pétreo seco, γ_d , en gramos por centímetro cúbico.

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V_m} = \frac{W_s}{V_s + V_{vi} + V_{vp}}$$

Este es un caso particular en γ_m , en don de W_w , es igual a cero (0) y generalmente se le designa como peso volumétrico del material seco expresándolo en kilogramos por metro cúbico.

- e6) Peso específico del suelo saturado o del material pétreo saturado y superficialmen te seco, γ_{sat} , en gramos por centímetro cúbico.

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{W_s + W_{ws}}{V_m} = \frac{W_s + W_{ws}}{V_s + V_{vi} + V_{vp}}$$

Este es otro caso particular de γ_m , en donde W_{ws} , es el peso del agua de saturación del suelo o del material pétreo, siendo ésta la que ocupa todos los vacíos permeables.

- e7) Peso específico de la fase sólida del suelo o del material pétreo, γ_s , en gramos por centímetro cúbico.

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$$

- e8) Peso específico aparente de la fase sólida del suelo o del material pétreo, γ_{ap} , en gramos por centímetro cúbico.

$$\gamma_{ap} = \frac{W_s}{V_s + V_{vi}}$$

- e9) Peso específico relativo del suelo o del material pétreo, S_m , que es un número abstracto.

$$S_m = \frac{\gamma_m}{\gamma_o} = \frac{W_s + W_w}{(V_s + V_{vi} + V_{vp}) \gamma_o}$$

En donde W_w , es el peso del agua que contiene el suelo o material pétreo.

- e10) Peso específico relativo del suelo o del material pétreo secos, S_d , que es un número abstracto.

$$S_d = \frac{\gamma_d}{\gamma_o} = \frac{W_s}{V_m \gamma_o} = \frac{W_s}{(V_s + V_{vi} + V_{vp}) \gamma_o}$$

- e11) Peso específico relativo del suelo saturado o del material pétreo saturado y super

ficialmente seco, S_{sat} , que es un número abstracto.

$$S_{sat} = \frac{\gamma_{sat}}{\gamma_o} = \frac{W_s + W_{ws}}{V_m \times \gamma_o} = \frac{W_s + W_{ws}}{(V_s + V_{vi} + V_{vp}) \gamma_o}$$

En donde W_{ws} , es el peso del agua de saturación del suelo o del material pétreo.

- e12) Peso específico relativo de la fase sólida del suelo o del material pétreo, S_s , que es un número abstracto. A este valor se le conoce comúnmente como densidad.

$$S_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_o} = \frac{W_s}{V_s \times \gamma_o}$$

- e13) Peso específico relativo aparente del suelo o del material pétreo, S_{ap} , que es un número abstracto. A este valor se le conoce comúnmente como densidad aparente.

$$S_{ap} = \frac{\gamma_{ap}}{\gamma_o} = \frac{W_s}{(V_s + V_{vi}) \gamma_o}$$

002-G.02 Para determinar el peso específico relativo del material seco, el peso específico relativo del material saturado y superficialmente seco, el peso específico relativo aparente y la absorción de la porción gruesa de un suelo, considerada ésta como la fracción retenida en la malla Núm. 4.75, según quedaron definidos dichos pesos específicos en el inciso (002-G.01) de este Capítulo, se utilizan las pruebas que se describen a continuación:

- a) El equipo y materiales que se requieren son los siguientes:

Malla Núm. 4.75.

Balanza con capacidad no menor de cinco (5) kilogramos y con aproximación de cero punto cinco (0.5) gramos.

Canastilla de malla metálica, con aberturas de tres punto treinta y cinco (3.35) milímetros (Núm. 6) o dos punto treinta y seis (2.36) milímetros (Núm. 8), de aproximadamente veinte (20) centímetros de diámetro y veinte (20) centímetros de altura.

Recipiente adecuado para sumergir la canastilla en agua y saturar el material.

Dispositivo adecuado para suspender la canastilla del centro del platillo de la balanza. El alambre utilizado en este dispositivo deberá ser del diámetro más pequeño posible para reducir al mínimo los efectos de la longitud sumergida del mismo, Figura Núm. 23.

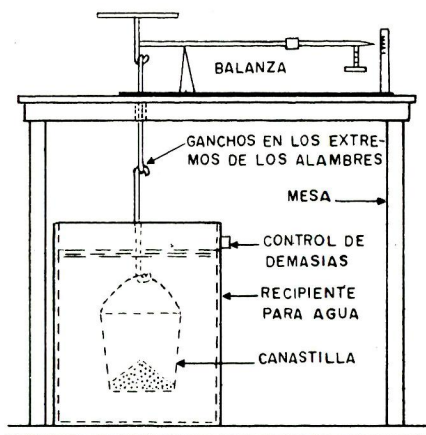
Horno provisto de control de temperatura, que permite mantenerla constante a ciento cinco más menos cinco grados centígrados ($105 \pm 5^{\circ}\text{C}$).

Desecador de cristal.

Cloruro de calcio anhidro.

Lienzo absorbente.

- b) De una muestra preparada como se indica en la cláusula (002-D) de este Capítulo, se toman cinco (5) kilogramos y se le elimina mediante cribado la fracción que pasa la malla Núm. 4.75; a continuación se obtiene por cuarteo, del retenido en dicha malla, una porción representativa de un (1) kilogramo aproximadamente.
- c) El procedimiento de prueba es el siguiente:
 - c1) Se lava el material retenido en la malla Núm. 4.75, con el fin de eliminar cualquier película de polvo o material extraño que contenga.



DISPOSICION DEL EQUIPO PARA LA DETERMINACION DEL PESO SUMERGIDO

Figura N° 23.

- c2) Se seca la fracción lavada hasta peso constante y a una temperatura de ciento cinco más menos cinco grados centígrados ($105 \pm 5^{\circ}\text{C}$). Se deja enfriar a la temperatura ambiente durante una (1) a tres (3) horas.
- c3) La muestra lavada se sumerge en agua limpia a una temperatura de quince a veinticinco grados centígrados ($15 - 25^{\circ}\text{C}$) y se mantiene en estas condiciones durante veinticuatro (24) horas.
- c4) Transcurrido este tiempo, se extrae la muestra del agua y se rola sobre el lienzo absorbente ligeramente humedecido para secarla superficialmente. Las partículas

más grandes se secan en forma individual. La condición de secado superficial se logra cuando las partículas, no obstante que se noten húmedas, hayan perdido la película brillante visible de agua. Esta operación se llevará a cabo en forma rápida para evitar cualquier pérdida de agua por evaporación.

- c5) Se pesa la canastilla vacía y sumergida en el agua y se registra este peso como W_C , en gramos
- c6) Se pesa el material saturado y superficialmente seco y se registra este peso como W_1 , en gramos.
- c7) Inmediatamente después se coloca el material dentro de la canastilla de alambre, se sumergen ambos en agua limpia a veintitres más menos dos grados centígrados ($23 \pm 2^\circ\text{C}$) y se suspende en el centro del platillo de la balanza por medio del dispositivo previsto para tal fin. La canastilla se deberá sumergir a una profundidad adecuada para que ésta y el material queden completamente cubiertos por el agua durante la operación de pesado. Cuando se aprecia que no salen burbujas de la canastilla y material sumergidos, se termina en estas condiciones el peso del material con la canastilla, anotándolo como W_2 , en gramos.
- c8) Se saca del agua la canastilla con la muestra y se coloca esta última dentro del horno a una temperatura de ciento cinco más menos cinco grados centígrados ($105 \pm 5^\circ\text{C}$), para su secado hasta peso constante.

- c9) Después de secada la muestra se deja en friar dentro del desecador hasta que al cance la temperatura ambiente y a conti nuación, se determina su peso y se anota éste como w_s , en gramos.
- c10) Se determina el peso del material sumergi do en el agua restando al peso w_2 , el pe so w_c , de la canastilla sumergida y se a nota como w_3 , en gramos.
- d) Los pesos específicos relativos y la absor ción del material pétreo se calculan como se indica a continuación, tomando en cuenta los conceptos establecidos en el inciso (002-G.01) de esta Cláusula, que se ilus tran en la Figura Núm. 24.
- d1) Peso específico relativo S_d , del material seco, número abstracto.

$$S_d = \frac{w_s}{w_1 - w_3} = \frac{w_s}{V_m \gamma_o} = \frac{w_s}{(V_s + V_{vi} + V_p) \gamma_o}$$

- d2) Peso específico relativo del material sa turado y superficialmente seco, S_{sat} , núme ro abstracto.

$$S_{sat} = \frac{w_1}{w_1 - w_3} = \frac{w_s + w_{ws}}{V_m \cdot \gamma_o} = \frac{w_s + w_{ws}}{(V_s + V_{vi} + V_p) \gamma_o}$$

- d3) Peso específico relativo aparente o den sidad aparente de la fase sólida, S_{ap} , del material, número abstracto.

$$S_{ap} = \frac{w_s}{w_s - w_3} = \frac{w_s}{(V_s + V_{vi}) \gamma_o}$$

- d4) Absorción del material, w_{ab} , en por cien to.

$$W_{ab} = \frac{W_1 - W_s}{W_s} \times 100$$

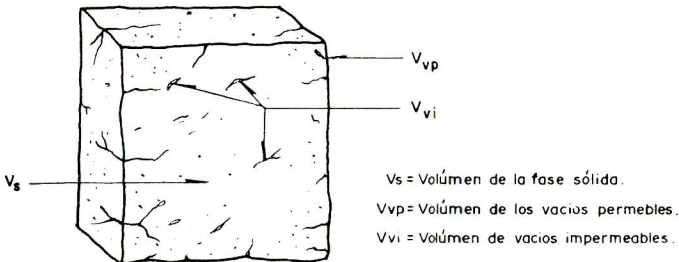
En las fórmulas anteriores:

W_1 es el peso del material saturado y su superficialmente seco, en gramos.

W_2 es el peso del material saturado incluyendo la canastilla, sumergida en agua a veintitres grados centígrados (23°C), en gramos.

W_3 es el peso del material saturado y su mergido en el agua, en gramos.

W_s es el peso del material seco al horno, en gramos.



$$V_m = V_s + V_{vi} + V_{vp}$$

W_s es el peso de la fase sólida del material pétreo

W_1 es el peso de la fase sólida + peso del agua en vacíos permeables = $W_s + W_{ws}$

$$W_{ws} = V_{vp} \gamma_0 \quad (\gamma_0 = \text{Un gramo por centímetro cúbico})$$

W_3 es el peso del material sumergido en el agua (método de la canastilla)

$$W_s - W_3 = (V_s + V_{vi}) \gamma_0 \quad (\text{Principio de Arquímedes})$$

$$W_1 - W_3 = W_s + W_{ws} - W_3 = (W_s - W_3) + W_{ws} = (V_s + V_{vi} + V_{vp}) \gamma_0 = V_m \gamma_0$$

FIGURA NUM. 24. ESQUEMA DE UNA PARTICULA DE MATERIAL PETREO SATURADO

- e) Cuando no se requiere mucha precisión en la determinación de los pesos específicos relativos mencionados en este inciso, el volumen del material, V_m , se podrá determinar por desalojamiento volumétrico utilizando un picnómetro, Figura Núm. 24 A y procediendo como se indica a continuación.
- e1) Se coloca el picnómetro en una superficie horizontal estable y se llena con agua hasta el nivel de derrame, dejando abierto el grifo de salida y colocando debidamente centrada y apoyada una probeta de mil (1000) mililitros, para recibir el agua que desaloje la muestra.
- e2) Estando el material saturado y superficialmente seco como se indica en el subpárrafo c4), párrafo c) de este inciso, se pesa y registra su peso como W_1 , en gramos; a continuación, se depositan cuidadosamente en el picnómetro las partículas de dicho material y simultáneamente se recoge en la probeta el agua desalojada.
- e3) Una vez que ha terminado de escurrir el agua a la probeta se lee en ésta el volumen desalojado, anotándose como, V_m , en centímetros cúbicos.
- e4) Se saca la muestra del picnómetro, se coloca dentro del horno a una temperatura de ciento cinco más menos cinco grados centígrados ($105 \pm 5^\circ\text{C}$), y se seca hasta peso contante, después de lo cual se saca del horno y se deja enfriar dentro del

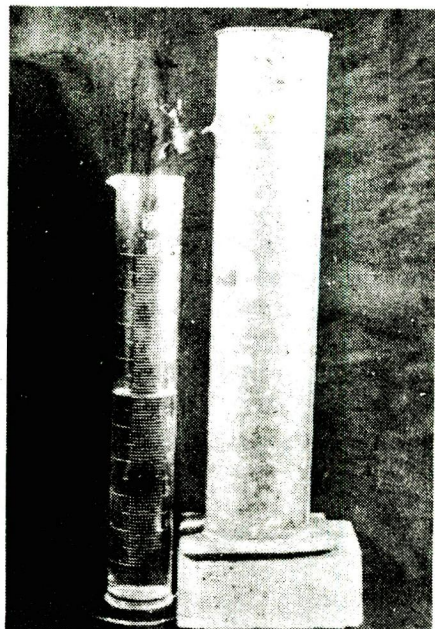


Figura Núm. 24 A. Pícnómetro

dsecador hasta que alcance la temperatu
ra ambiente; a continuación, se determina
su peso y se anota éste como W_s , en gra
mos.

- e5) Los pesos específicos del material pétreo
y en su caso la absorción se determinan
aplicando las fórmulas del párrafo (002-
G.02.d) de este inciso, excepto que el pe
so específico relativo aparente o densi
dad aparente, S_{ap} , se calculará empleando
la siguiente expresión:

$$S_{ap} = \frac{W_s}{V_m - (W_1 - W_s)} = \frac{W_s}{(V_s + V_{vi}) \gamma_o}$$

002-G.03 En cuanto a la fracción de suelo que pasa la malla Núm. 4.75, el peso específico relativo del material seco, el peso específico relativo del material saturado y superficialmente seco, el peso específico aparente y la absorción, según quedaron definidos éstos conceptos en el inciso (002-G.01) de este Capítulo, se obtendrá mediante el método de prueba que se describe más adelante, cuyos resultados nos permiten conocer algunas características de los suelos que se utilizan para diferentes estudios, como por ejemplo la curva de saturación teórica empleada en las pruebas de compactación, descritas en la cláusula (002-K) de este Capítulo. En este método se considera que los espacios comprendidos entre las partículas de suelo no forman parte de los vacíos permeables mencionados en las definiciones del inciso (002-G.01) de este Capítulo. El procedimiento incluye tanto el caso de suelos arcillosos o cohesivos, como el de suelos arenosos o no cohesivos.

- a) El equipo y materiales necesarios para efectuar las pruebas son los siguientes:

Matraz aforado de vidrio refractario, de cuello largo y fondo plano, de quinientos (500) centímetros cúbicos de capacidad.

Malla Núm. 4.75.

Balanza de un (1) kilogramo de capacidad con aproximación de cero punto cero un (0.01) gramo.

Termómetro graduado de cero a cincuenta grados centígrados (0 - 50°C), con aproximación de cero punto un grado centígrado- (0.1°C).

Parrilla eléctrica o fuente de calor de función similar.

Desecador de cristal.

Trampa de vacío o dispositivo neumático de succión capaz de producir un vacío máximo correspondiente a cien (100) milímetros de mercurio, (0.136 kg/cm²).

Batidora, como la que se ilustra en la Figura Núm. 25.

Cuentagotas o pipeta de vidrio o metal.

Molde de latón o acero inoxidable en forma de cono truncado de treinta y ocho (38) milímetros de diámetro en la base superior, ochenta y nueve (89) milímetros de diámetro en la inferior, con setenta y cuatro (74) milímetros de altura. El espesor de la lámina será de cero punto nueve (0.9) milímetros como mínimo.

Pisón metálico con peso de trescientos cuarenta más menos quince (340 ± 15) gramos, con los extremos planos y de un diámetro de veinticinco más menos tres (25 ± 3) milímetros.

Espátula.

Cápsula de porcelana de un (1) litro de capacidad.

Embudo.

Agua destilada.

Cloruro de calcio anhidro.

Alcohol.

Eter sulfúrico.

Mezcla crómica para lavado, que se obtiene disolviendo en caliente sesenta (60) gramos de bicromato de potasio, en trescientos (300) centímetros cúbicos de agua destilada, a la cual se le adicionan en frío cua-

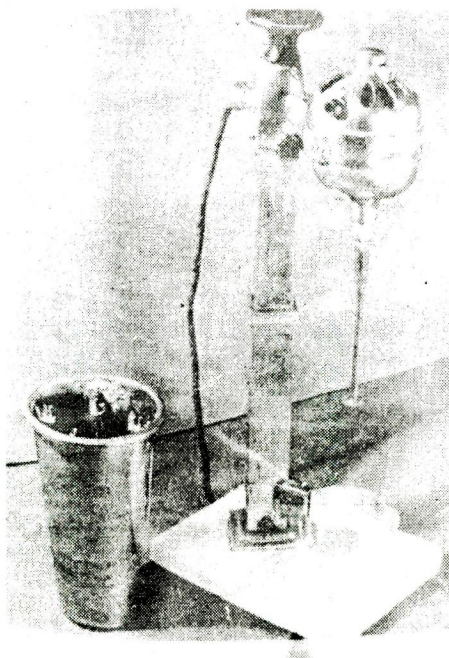


Figura Núm. 25. Batidora para la preparación de la muestra en suelos arcillosos o cohesivos.

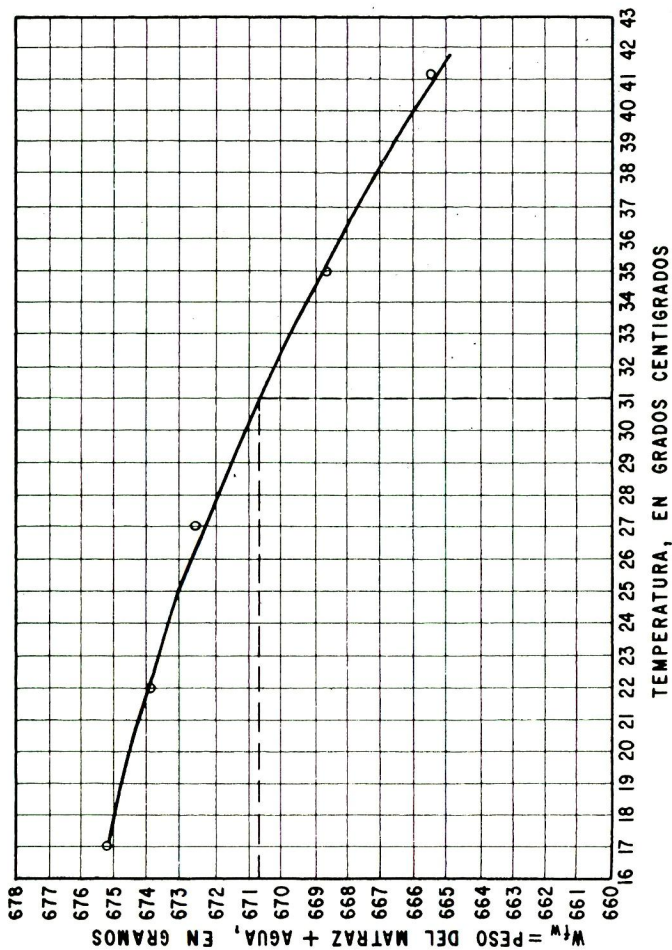
trocientos cincuenta (450) centímetros cúbicos de ácido sulfúrico comercial.

Papel absorbente.

- b) Antes de proceder a efectuar la prueba se deberá limpiar el matraz y en caso de que no se encuentre calibrado, se procederá a hacerlo en la forma que a continuación se indica:
- b1) Se lava el matraz con la mezcla crómica para eliminar la grasa que pueda tener adherida en su interior.

- b2) Se enjuaga con agua destilada y se escurre perfectamente, bañando a continuación su pared interior con alcohol para eliminar los residuos de agua.
- b3) Para finalizar el lavado se enjuaga nuevamente el matraz con éter sulfúrico y con objeto de facilitar la eliminación de éste, se coloca el matraz en un soporte con la boca libre hacia abajo, durante diez (10) minutos.
- b4) Se determina el peso del matraz seco y limpio y se anota este peso como W_f , en gramos.
- b5) Se llena el matraz con agua destilada, que se encuentre a la temperatura ambiente, hasta cero punto cinco (0.5) centímetros abajo de la marca de aforo, aproximadamente, dejándola reposar durante unos minutos.
- b6) Se verifica si la temperatura del agua dentro del matraz es uniforme, tomando lecturas con el termómetro a diferentes profundidades. Si la temperatura no es uniforme, se agita suavemente el agua con el termómetro. Si la diferencia de temperaturas es relativamente grande, se tapa con la palma de la mano el matraz y se voltea lentamente procurando evitar la formación de burbujas, se mide la temperatura del agua colocando el bulbo del termómetro en el centro del matraz y se anota dicha temperatura.
- b7) Se agrega agua destilada, utilizando el cuentagotas hasta que la parte inferior del menisco coincida con la marca de aforo.

- b8) Se seca cuidadosamente el interior del cuello del matraz, con un papel absorbente enrollado, sin tocar el menisco.
- b9) Se pesa el matraz lleno de agua y se anota este peso como W_{fw} , en gramos.
- b10) A continuación se efectúan otras cuatro (4) determinaciones de W_{fw} , a las temperaturas de cinco y diez grados centígrados (5 y 10°C) abajo y cinco y diez grados centígrados (5 y 10°C) arriba, aproximadamente, de la temperatura inicial del agua, siguiendo las indicaciones de los subpárrafos b5) a b9) de este párrafo.
- b11) Finalmente se dibuja la curva de calibración del matraz en un sistema de ejes coordenados, marcando las temperaturas en la escala horizontal y los pesos W_{fw} , en la escala vertical. Deberá obtenerse una curva suave y continua como se ilustra en la Figura Núm. 26.
- c) La preparación de la muestra consistirá en lo siguiente:
 - c1) Para el caso de suelos arcillosos o cohesivos se efectuará como a continuación se indica:
 - c1.a) Del material previamente secado, disgregado y cuarteado de acuerdo con el procedimiento indicado en la cláusula (002-D) de este Capítulo, se obtiene por cribado en la malla Núm. 4.75, una porción de cien (100) gramos, aproximadamente, de la fracción que pase dicha malla.
 - c1.b) Se deposita este material en una cápsula, se adiciona agua destilada y se mezcla con la espátula hasta obtener una pasta suave.



MATRAZ NUM. 6	
TEMPERATURA EN GRADOS CENTIGRADOS	W _f = PESO DEL MATRAZ+AGUA, EN GRAMOS
17.0	675.2
22.0	674.0
27.0	672.7
35.0	668.8
41.2	655.6

FIGURA NUM. 26. CURVA DE CALIBRACION DEL MATRAZ

- c1.c) Se coloca la pasta en el vaso de la batidora, se agrega agua destilada hasta completar aproximadamente doscientos cincuenta (250) centímetros cúbicos y se hace funcionar dicho aparato durante un lapso de quince (15) minutos, aproximadamente, para formar una suspensión uniforme.
- c2) Para el caso de suelos arenosos o no cohesivos la muestra se preparará como a continuación se indica:
 - c2.a) Del material previamente secado, disgregado y cuarteado de acuerdo con los procedimientos indicados en la cláusula (002-D) de este Capítulo, se obtiene por cribado en la malla Núm. 4.75, una porción de mil (1000) gramos, aproximadamente, de la fracción que pase dicha malla.
 - c2.b) Se seca el material hasta peso constante, a una temperatura de ciento cinco más menos cinco grados centígrados ($105 \pm 5^{\circ}\text{C}$) y se deja enfriar a la temperatura ambiente hasta que se pueda manipular.
 - c2.c) Se sumerge el material en un vaso con agua limpia a una temperatura de quince a veinticinco grados centígrados (15 a 25°C) y se mantiene en estas condiciones durante veinticuatro (24) horas.
 - c2.d) Se decanta el agua, se extiende el material sobre una superficie plana no absorbente y se aplica una corriente de aire a la vez que se remueve en forma continua para asegurar un secado uniforme.
 - c2.e) Se coloca el molde cónico sobre una superficie plana apoyándolo en su base de mayor diámetro y se llena con material

parcialmente seco, al cual se le aplican veinticinco (25) golpes suaves con el pi s ón, después de lo cual se levanta verticalmente el molde. Si el material contiene humedad superficial mantendrá la for ma c ón i c a; en este caso, se continúa la operación de secado, repitiendo frecuentemente el procedimiento del cono antes descrito, hasta que al levantar éste, el material no mantenga la forma cónica, lo que indicará que ya no contiene humedad superficial. Si al efectuar la prueba por primera vez, el material no mantiene la forma cónica se le agregan unos centime tro s c úb i c o s de agua, se mezcla perfectamente y se deja en reposo en un recipie n te cubierto, durante un tiempo mín i m o de treinta (30) minutos y se repite la operación de secado que se indica en este subpárrafo, hasta obtener el secado superficial.

- c3) Del material obtenido como se indicó en los subpárrafos c1) ó c2) de este párrafo, se pesa una cantidad de cien (100) gramos a quinientos (500) gramos y se re g i s t r a este peso como w_{sat} .
- d) El procedimiento de prueba es el siguiente:
 - d1) Inmediatamente después de preparar la muestra conforme a lo indicado en el párrafo c) de este Inciso, utilizando el embudo se coloca cuidadosamente ésta en el matraz limpio y se le vierte agua destilada, hasta la mitad de su volumen, a proximadamente.
 - d2) Empleando el dispositivo de succión, se a p l i c a vacío el matraz durante quince (15) minutos, con objeto de extraer el aire

contenido en la muestra; para facilitar este proceso se agita cuidadosamente la suspensión con un movimiento giratorio del matraz alrededor de su eje. La succión máxima que se aplique no deberá exceder de cien (100) milímetros de mercurio (0.136 kg/cm^2). En caso de no contar con el dispositivo de succión, para el mismo fin debe calentarse el matraz hasta lograr una ebullición moderada durante diez (10) minutos, haciéndolo girar alrededor de su eje para acelerar la eliminación de aire atrapado en el material, posteriormente deberá dejarse enfriar la suspensión hasta una temperatura cercana a la del ambiente y dentro del intervalo de calibración del matraz.

- d3) Se agrega cuidadosamente agua destilada hasta la marca de aforo y se vuelve a aplicar el vacío, para asegurar que no ha ya quedado aire atrapado en la muestra, lo cual ocurrirá cuando ya no se observe ninguna variación en el nivel del menisco. En el caso de haberse aplicado ebullición únicamente se agregará agua hasta la marca de aforo.
- d4) Una vez que se ha logrado eliminar el aire de la suspensión, deberá hacerse coincidir el nivel inferior del menisco con la marca de aforo; para ésto si es necesario, se quita o agrega agua destilada, utilizando el cuentagotas.
- d5) Se secan cuidadosamente la superficie exterior del matraz y el interior del cuello del mismo; para esta última operación podrá emplearse un papel absorbente enrollado, evitando tocar y perturbar el me

nisco.

- d6) Se pesa el matraz con el suelo y el agua, anotando este peso como, W_{fsw} , en gramos.
- d7) Se tapa el matraz y se invierte varias veces en forma cuidadosa, con el fin de uniformizar la temperatura de la suspensión y a continuación se coloca el bulbo del termómetro en el centro del matraz, y la temperatura que registre será considerada como la de la prueba:
- d8) Una vez concluidas las etapas anteriores, se vierte toda la suspensión a una cápsula de porcelana, empleando el agua necesaria para arrastrar todas las partículas del suelo y se deja reposar durante veinticuatro (24) horas. Se elimina el agua sobrante mediante una cuidadosa decantación y se lleva la muestra al horno para su secado total a peso constante, a una temperatura de ciento cinco más menos cinco grados centígrados ($105 \pm 5^{\circ}\text{C}$); se determina y se anota el peso seco de la muestra, W_s , en gramos.
- d9) En el caso de arenas, el período de reposo podrá reducirse hasta que se observe limpio el tirante de agua, continuando la prueba en la forma descrita en el subpárrafo d8) de este párrafo.
- e) Se calculan los pesos específicos relativos y la absorción del suelo o material pétreo en la forma siguiente:
- e1) El peso específico relativo del material seco, S_d , aplicable al caso de suelos no cohesivos.

$$S_d = \frac{W_s}{W_{fw} + W_{sat} - W_{fsw}}$$

- e2) El peso específico relativo del material saturado y superficialmente seco, S_{sat} , aplicable al caso de suelos no cohesivos.

$$S_{sat} = \frac{W_{sat}}{W_{fw} + W_{sat} - W_{fsw}}$$

- e3) El peso específico relativo aparente de la fase sólida, S_{ap} , aplicable tanto a suelos cohesivos como no cohesivos.

$$S_{ap} = \frac{W_s}{W_{fw} + W_s - W_{fsw}}$$

- e4) Absorción, W_{ab} , en por ciento, aplicable a suelos no cohesivos.

$$W_{ab} = \frac{W_{sat} - W_s}{W_s} \times 100$$

En las fórmulas anteriores:

W_s es el peso del suelo secado al horno en gramos.

W_{fw} es el peso del matraz lleno de agua a la temperatura de prueba, determinado de la curva de calibración del matraz, en gramos.

W_{sat} es el peso del suelo no cohesivo, saturado y superficialmente seco, en gramos.

W_{fsw} es el peso del matraz conteniendo al suelo y agua hasta la marca de aforo a la temperatura de prueba, en gramos.

- f) Con los procedimientos antes descritos se obtienen los pesos específicos de los suelos con una exactitud aceptable para uso general; cuando se requiera mayor precisión deberá repetirse la prueba de que se trate, hasta lograr que dos (2) de los resultados tengan una discrepancia menor de más menos punto cero dos (± 0.02) respecto al promedio de los valores obtenidos en las pruebas efectuadas.

002-H DETERMINACION DE LA COMPOSICION GRANULOMETRICA MEDIANTE EL USO DE MALLAS

002-H.01 Esta prueba consiste en separar por tamaños las partículas de suelo, pasándolo a través de una sucesión de mallas de aberturas cuadradas y en pesar las porciones que se retienen en cada una de ellas, expresando dichos retenidos como porcentajes en peso de la muestra total.

- a) La sucesión de tamaños obtenidos mediante el empleo de mallas, da una idea de la composición granulométrica únicamente en dos (2) dimensiones, por lo que las resultantes sólo serán representativas de materiales constituidos por partículas de forma equidimensional; si las partículas de un material tienen forma laminar o ascicular, es decir, de lajas o agujas, respectivamente, los resultados que se obtengan no serán representativos de los tamaños reales del material y, en consecuencia, de su comportamiento. Asimismo, la curva granulométrica no dará una idea correcta de la sucesión de tamaños en los materiales con partículas de pesos específicos muy diferentes, en cuyo caso será necesario efectuar la corrección correspondiente, para transformar los porcentajes obtenidos en función de pesos, a

porcentajes en función de volúmenes.

- b) Las características granulométricas de un suelo influyen en la mayor o menor facilidad para lograr una compactación adecuada y tienen importancia en su comportamiento mecánico, principalmente en los suelos gruesos. Generalmente, la mayor estabilidad de un suelo se alcanza cuando la cantidad de vacíos es mínima y para que esta condición pueda lograrse, se requiere que el material tenga una sucesión adecuada de tamaños que permita que los huecos resultantes del acomodo de las partículas mayores, sean ocupados por partículas menores y que a su vez, los huecos que dejan estas últimas sean ocupados por partículas más finas y así sucesivamente.
- c) La prueba tiene dos (2) variantes, el análisis granulométrico estándar y el análisis granulométrico simplificado, los cuales se describen en los incisos (002-H.02) y (002-H.03), respectivamente, de este Capítulo.

002-H.02 El análisis granulométrico estándar consiste esencialmente en separar y clasificar por tamaños las partículas que componen el suelo, utilizando el procedimiento de cribado, es decir, haciendo pasar el material a través de un juego de mallas de aberturas cuadradas que comprende de la Núm. 75.0 a la Núm. 0.075, como se indica más adelante.

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

Balanza de veinte (20) kilogramos de capacidad y cinco (5) gramos de aproximación.

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

Charolas de lámina.

Cucharón de lámina.

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

Cepillo de cerdas.

Cepillo de alambre delgado.

Desecador de cristal.

Juego de mallas de las siguientes designaciones: Núms. 75.0, 50.0, 37.5, 25.0, 19.0, 12.5, 9.5, 4.75, 2.00, 0.850, 0.425, 0.250, 0.150 y 0.075.

Tapa y fondo para el juego de mallas.

Vaso de aluminio de un (1) litro.

Agitador de varilla metálica de seis (6) milímetros de diámetro y veinte (20) centímetros de longitud.

Agitador mecánico del tipo Ro-tap.

Cloruro de calcio anhidro.

b) La preparación de la muestra deberá hacerse como sigue:

b1) De cada muestra obtenida como se indica en la cláusula (002-B) de este Capítulo y preparada como se describe en la cláusula (002-D) del mismo, se obtiene por cuarteo una porción representativa con peso aproximado de quince (15) kilogramos, el cual se determina y se anota como W_m , con aproximación de un (1) gramo.

b2) Una vez preparada la muestra como se indica en el subpárrafo b1) de este párrafo, se criba el material por la malla Núm. 4.75, para separarlo en dos (2) fraccio

nes; se determina el peso de ellas, se anota como W_{m1} , el peso de la fracción retenida en la malla Núm. 4.75 y como W_{m2} , el de la fracción que pasa esta malla, ambos con aproximación de un (1) gramo.

- b3) Se corrige el peso de la fracción que pasa la malla Núm. 4.75, determinando su contenido de agua de acuerdo con el procedimiento indicado en la cláusula (002-E) de este Capítulo y se anota la humedad obtenida como W_2 . Generalmente no es necesario determinar la humedad W_1 , de la fracción retenida en la malla Núm. 4.75, secada al sol, debido a que este valor es relativamente pequeño y puede desprejiciarse sin introducir errores de importancia.
- c) La prueba se desarrollará como sigue:
 - c1) Se criba en forma manual el material retenido en la malla Núm. 4.75, a través de las mallas Núms. 75.0, 50.0, 37.5, 25.0, 19.0, 12.5, 9.5 y 4.75, comenzando por la de mayor abertura y siguiendo el orden en que se indicaron. Para efectuar esta operación deberá imprimirse a las mallas un movimiento vertical y de rotación horizontal, para mantener al material en constante movimiento y permitir que los tamaños menores pasen a través de las aberturas correspondientes. El volumen de material que se coloque en cada malla, deberá ser menor que la capacidad de la misma, con el fin de evitar pérdidas y facilitar el cribado, Figura Núm. 27. El paso de las partículas a través de las aberturas de las mallas deberá efectuarse libremente.

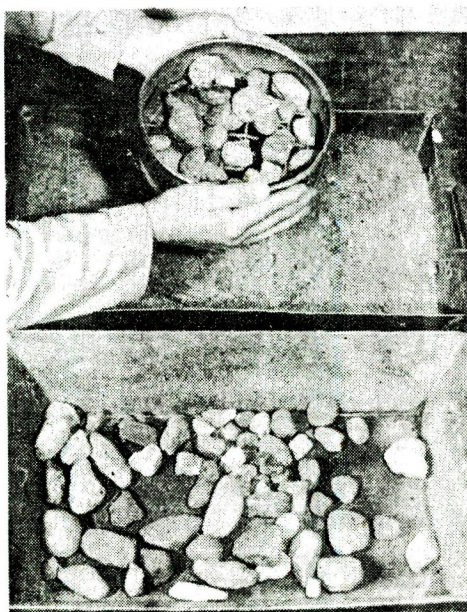


Figura Núm. 27. Cribado del material a través de una malla.

El cribado en una malla deberá suspenderse cuando se estime que el peso del material que pasa dicha malla durante un (1) minuto no es mayor de un (1) gramo. Se verificará si las partículas que quedan retenidas y que tengan forma de laja o forma de aguja pueden pasar a través de cada malla, sin forzarlas, acomodándolas con la mano según su dimensión menor, y las que queden atoradas en las tramas, deberán incorporarse a la porción retenida en la malla correspondiente.

- c2) Se pesan los materiales retenidos en cada una de las mallas, Figura Núm. 28, y se anotan los pesos respectivos como W_i , en gramos.

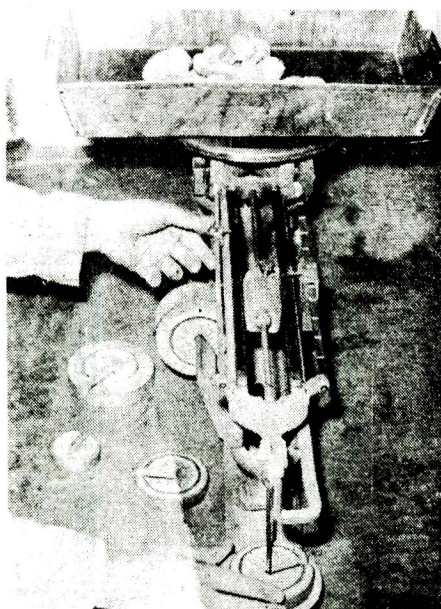


Figura Núm. 28. Determinación del peso de la fracción retenida en una malla.

- c3) La fracción que pasa la malla Núm. 4.75, se cuartea siguiendo el procedimiento indicado en el inciso (002-D.04) de este Capítulo y se toma el equivalente a un peso de doscientos (200) gramos de material seco; dicho peso se determinará previamente, aplicando la siguiente fórmula:

$$W_h = 200 (1 + w_2)$$

En donde:

W_h es el peso de la muestra húmeda equivalente a doscientos (200) gramos de material seco.

w_2 es el contenido de agua del material que pasa la malla Núm. 4.75, expresado en forma decimal.

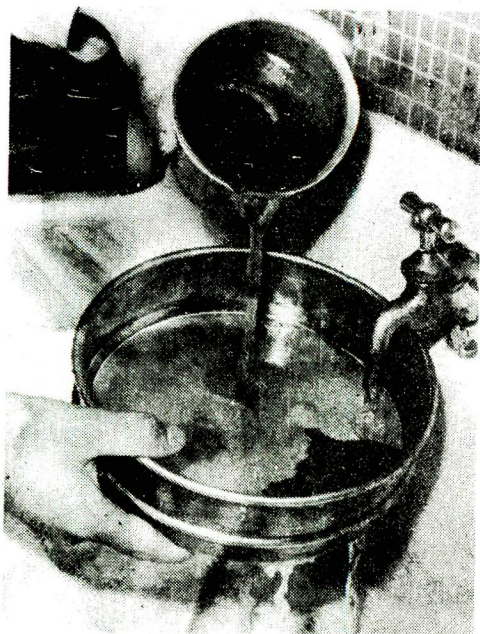


Figura Núm. 29. Decantado de la suspensión a través de la malla Núm. 0.075

- c4) Se coloca esta muestra en el vaso metálico y se agregan quinientos (500) centímetros cúbicos de agua, aproximadamente, dejándose en reposo durante doce (12) horas, como mínimo.
- c5) Transcurrido este lapso, se lava la muestra a través de la malla Núm. 0.075. El lavado se hará agitando el contenido del vaso con la varilla durante quince (15) segundos, moviéndola en forma de ocho (8) y dejando reposar dicho contenido durante treinta (30) segundos. Inmediatamente después se decanta la suspensión sobre la malla Núm. 0.075, como se muestra en la Figura Núm. 29. Para facilitar el paso de las partículas finas a través de la malla,



Figura Núm. 30. El material retenido en la malla es devuelto al vaso metálico.

deberá aplicarse sobre ésta un chorro de agua a baja presión.

- c6) Se repite la operación de lavado indicada en el subpárrafo c5) de este párrafo, hasta que el agua decantada salga limpia.
- c7) A continuación se regresa al vaso metálico el material que se haya retenido en la malla Núm. 0.075, como se muestra en la Figura Núm. 30, utilizando un poco de agua, la que se decantará del vaso al final de la operación, cuidando que no haya arrastre de partículas.
- c8) Se seca el material en el mismo vaso metálico, dejándolo en el horno un lapso no menor de dieciseis (16) horas, a una tem



Figura Núm. 31. Disposición de las mallas por efectuar el cribado del material que pasa la malla Núm. 4.75.

peratura de ciento cinco más menos cinco grados centígrados ($105 \pm 5^{\circ}\text{C}$), hasta peso constante; a continuación se saca la muestra del horno y se deja enfriar en el desecador de cristal hasta que tenga una temperatura cercana al ambiente.

- c9) Se superponen las mallas a partir de la charola de fondo, en el siguiente orden, Núms. 0.075, 0.150, 0.250, 0.425, 0.850 y 2.0. Se vierte el material sobre la malla superior, se coloca la tapa, ver Figura Núm. 31, y se efectúa la operación de cribado, imprimiendo al juego de mallas un movimiento vertical y de rotación horizontal, durante cinco (5) minutos; en esta operación es conveniente emplear el agitador mecánico.

c10) Se quita la tapa, se separa la malla Núm. 2.0 y se agita sobre una charola, hasta que se estime que el peso del material que pasa dicha malla durante un (1) minuto, no sea mayor de un (1) gramo. Se vierte sobre la malla Núm. 0.850 el material que pasó la malla Núm. 2.0 y se depositó en la charola. Se repite este procedimiento de cribado adicional con cada una de las mallas restantes. Las partículas que hayan quedado atoradas deberán regresarse a las porciones retenidas correspondientes, cepillando las mallas por el revés. A continuación se pesan los materiales retenidos en cada una de las mallas y se anotan los pesos respectivos como W_j , en gramos.

d) La composición granulométrica se calculará como se indica a continuación:

d1) Los pesos W_j , de las porciones retenidas en cada una de las mallas Núms. 50.0, 37.5, 25.0, 19.0, 12.5, 9.5 y 4.75, se expresarán en por ciento del peso de la muestra seca W_d , anotándolos como porcentajes retenidos parciales y designándolos como "i". El peso de la muestra seca se determinará por medio de la siguiente fórmula:

$$W_d = W_{d1} + W_{d2} = W_{m1} + \frac{W_{m2}}{1 + w_2}$$

En donde:

W_d es el peso de la muestra representativa del material seco, indicado en el subpárrafo b1), párrafo b) de este Inciso, en gramos.

W_{d1} es el peso de la fracción retenida - en la malla Núm. 4.75, de la muestra

seca, en gramos, o sea la suma de los pesos W_1 , W_{d1} , se considera - igual a W_{m1} , en virtud de no haberse tomado en cuenta la humedad de la fracción gruesa.

W_{d2} es el peso de la fracción que pasa la malla Núm. 4.75, de la muestra se ca, en gramos.

W_{m1} es el peso de la fracción retenida en la malla Núm. 4.75, de la muestra original considerada seca, en gra mos.

W_{m2} es el peso de la fracción que pasa la malla Núm. 4.75, de la muestra hú meda, en gramos.

w_2 es la humedad de la porción que pa sa la malla Núm. 4.75, expresada en fracción decimal.

Los valores de los retenidos parciales "i" en por ciento, se registran considerándolos hasta la primera decimal. La su ma de los pesos W_1 , más el de la fracción W_{d2} , será igual a W_d , y la suma de estos pesos, expresados en por ciento, será de cien (100), aproximadamente, cuando este valor no se obtenga, podrán efectuarse ajustes en forma proporcional para lograr lo.

d2) El retenido parcial en por ciento correspondiente a la malla Núm. 50.0, deberá restarse de cien (100), para calcular el porcentaje de partículas que pasan dicha malla.

d3) Después deberán hacerse sustracciones su cesivas, restando del valor inmediato an terior obtenido, el por ciento parcial re tenido en la malla que le sigue en abertu

ra inferior, con lo cual se irán calculando los porcentajes que pasan en cada una de las mallas, hasta llegar a la malla Núm. 4.75.

- d4) A continuación deberán dividirse los pesos W_j , en gramos, retenidos en cada una de las mallas Núms. 2.0, 0.850, 0.425, 0.250, 0.150 y 0.075, entre el peso de doscientos (200) gramos de la muestra seca, después de lo cual deberán multiplicarse los cocientes anteriores por el porcentaje que pasa la malla Núm. 4.75, para obtener los porcentajes retenidos parciales "j", aproximándolos hasta la primera decimal. La suma de los pesos W_j , restada de doscientos (200) gramos, dará el peso del material que pasa la malla Núm. 0.075, el que deberá expresarse también en porcentaje respecto al peso total W_d , de la muestra seca. Estos porcentajes se calcularán empleando la fórmula siguiente:

$$j = \frac{W_j}{200} \left(100 \frac{W_{d2}}{W_d} \right) = \frac{W_{d2}}{2W_d} W_j$$

En donde:

j es el retenido parcial en cada malla desde la Núm. 2.0 a la Núm. 0.075 y el que pasa la malla Núm. 0.075, en porcentaje del peso total de la muestra.

W_j es el peso del material seco retenido parcialmente en cada malla y el de la fracción que pasa la malla Núm. 0.075, del material seco, en gramos.

200 es el peso en gramos de la muestra seca, obtenida del material que pasa

la malla Núm. 4.75.

$100 \frac{W_{d2}}{W_d}$ es la fracción que pasa la malla Núm. 4.75, en por ciento.

W_{d2} es el peso de la fracción que pasa la malla Núm. 4.75 de la muestra seca, en gramos.

W_d es el peso de la porción representativa del material seco, indicada en el subpárrafo d1) del párrafo d) de este inciso, en gramos.

- d5) Se calculan en forma análoga a la citada en el subpárrafo d3) de este párrafo, los valores correspondientes a los porcentajes que pasan las mallas Núms. 2.0, 0.850, 0.425, 0.250, 0.150 y 0.075, y se dibuja en la gráfica correspondiente. En la Figura Núm. 32, se ilustra un ejemplo del cálculo y de la gráfica que representa la composición granulométrica de un suelo.
- e) Para fines de clasificación del suelo deberán calcularse los coeficientes de uniformidad C_u y de curvatura C_c , que se emplean para juzgar la graduación del material, por medio de las fórmulas siguientes:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

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

En donde:

C_u es el coeficiente de uniformidad del material, número abstracto.

C_c es el coeficiente de curvatura del material, número abstracto.

MATERIALES DE LOS TERRAPLENES DE ACCESO

OBRA: ALCANTARILLA DEL APROYO "EL BEJICO"
 LOCALIZACION: CARRETERA TERC-TALISMAN
 ENSAYE NUM. 74-163 Km 240 D.D. 300m
 MUESTRA NUM. 1

PESOS: DE LA MUESTRA 13290 g
 DE LA FRACCION RETENIDA EN LA MALLA NUM. 4.75, w_{m1} 3880 g
 DE LA FRACCION QUE PASA LA MALLA NUM. 4.75, w_{m2} 9440 g

ANALISIS GRANULOMETRICO

FECHA: 28-IV-85
 OPERADOR: PEREZ Y SERVA
 CALCULISTA: JAIME OLIVERA
 REVISOR: ALFONSO EURENDO

HUMEDAD DE LA FRACCION QUE PASA LA MALLA NUM. 4.75

P E S O	D E
RECIPIENTE NUM	<u>12</u>
TARA + MUESTRA HUMEDA ($w_1 + w_m$)	<u>95.03 g</u>
TARA + MUESTRA SECA ($w_1 + w_d$)	<u>90.43 g</u>
PESO AGUA ($w_m - w_d$) = w_w	<u>4.55 g</u>
TARA w_1	<u>20.43 g</u>
PESO MUESTRA SECA w_d	<u>70.05 g</u>
CONTENIDO DE AGUA w_2	<u>6.5 %</u>

CORRECCION DEL PESO TOTAL DE LA MUESTRA, POR HUMEDAD DE LA FRACCION QUE PASA LA MALLA NUM. 4.75

$$w_2 = \frac{w_{m2}}{1 + w_2} = \frac{9440}{1 + 0.065} = 8864$$

MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA NUM. 4.75				MATERIAL QUE PASA LA MALLA NUM. 4.75			
Malla Num.	Peso retenido w_i (g)	Retenido parcial i (%)	Material que pasa (%)	Malla Num.	Peso retenido w_j (g)	Retenido parcial j (%)	Material que pasa (%)
75.0				2.0	<u>54.0</u>	<u>16.2</u>	<u>44.0</u>
50.0				0.850	<u>39.0</u>	<u>11.7</u>	<u>32.3</u>
37.5	<u>157</u>	<u>1.1</u>	<u>98.9</u>	0.425	<u>40.4</u>	<u>12.2</u>	<u>20.1</u>
25.0	<u>249</u>	<u>2.7</u>	<u>96.2</u>	0.250	<u>17.6</u>	<u>5.4</u>	<u>14.7</u>
19.0	<u>365</u>	<u>3.8</u>	<u>92.4</u>	0.150	<u>19.5</u>	<u>5.9</u>	<u>8.6</u>
12.5	<u>1179</u>	<u>8.0</u>	<u>84.4</u>	0.075	<u>13.7</u>	<u>4.1</u>	<u>4.7</u>
9.5	<u>646</u>	<u>4.4</u>	<u>80.0</u>	Peso 0.075	<u>15.6</u>	<u>4.7</u>	
4.75	<u>2910</u>	<u>19.6</u>	<u>60.2</u>	S U M A	<u>200.0</u>	<u>60.2</u>	
Peso 4.75	<u>8864</u>	<u>60.2</u>					
S U M A	<u>14114</u>	<u>100.0</u>					

FINOS (F) MALLAS NUM. 6.075 0.150 0.250 0.425 0.600 2.0 4.75 9.5 12.5 19.0 25.0 37.5 50.0 75.0

ARENAS (S)

GRAVAS (G)

Per cent. que pasa, e. pasa

Tamaño de las partículas en mm

$D_{10} = \underline{0.17}$ $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{4.75}{0.17} = \underline{28.0}$ Retenido en núm. 75.0 = 0.0 %
 $D_{50} = \underline{0.80}$ $G = \underline{39.6}$ %
 $D_{60} = \underline{4.75}$ $C_c = \frac{D_{50}^2}{D_{10} D_{60}} = \frac{0.64}{0.61} = \underline{0.79}$ $F = \underline{4.1}$ %
 Paso Núm. 0.425 = 10.1 %

CLASIFICACION SCT Y DESCRIPCION DEL MATERIAL SP ARENA MAL GRADUADA

FIGURA NUM. 32.

D_{10} , D_{30} y D_{60} representan los tamaños de las partículas de suelos en milímetros, que en la gráfica de la composición granulométrica corresponden al diez (10) por ciento, treinta (30) por ciento y sesenta (60) por ciento que pasa, respectivamente. Es decir, D_{10} , D_{30} y D_{60} , son las abscisas, de la gráfica de la composición granulométrica, correspondientes a las ordenadas de diez (10), treinta (30) y sesenta (60) por ciento, respectivamente, como se muestra en la Figura Núm. 32.

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

- f1) Que se produzcan pérdidas de materiales por manipulaciones descuidadas durante las operaciones de cribado, lavado, secado y pesado.
- f2) Que se usen mallas con aberturas diferentes de las especificadas, debido a construcción defectuosa, desgaste y deformación o ruptura de los alambres de las tramas.
- f3) Que permanezcan partículas de material atoradas en las tramas de las mallas y no se consideren en el peso del material retenido.

002-H.03 El análisis granulométrico simplificado consiste en separar y clasificar por tamaños las partículas que componen un suelo empleando un número reducido de mallas y sirve para juzgar su calidad, relacionando su cantidad de finos con las características de plasticidad. Mediante este análisis se define también el tamaño máximo del material.

a) El equipo necesario es el siguiente:

Balanza de veinte (20) 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.

Charola de lámina.

Cucharón de lámina.

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

Cepillo de cerdas.

Cepillo de alambre delgado.

Juego de mallas de las siguientes designaciones: Núms. 75.0, 50.0, 37.5, 25.0, 19.0, 12.5, 9.5, 4.75, 0.425 y 0.075.

Tapa y fondo para el juego de mallas.

Vaso de aluminio de un (1) litro.

Agitador de varilla metálica de seis (6) milímetros de diámetro y veinte (20) centímetros de longitud.

- b) La preparación de la muestra se sujetará al procedimiento descrito en el párrafo (002-H.02.b) de este Capítulo.
- c) En términos generales, la prueba se llevará a cabo de acuerdo con lo indicado en el párrafo (002-H.02.c) de este Capítulo, excepto que el material se cribará únicamente por las mallas indicadas en el párrafo a) de este inciso. El cribado del material por una o varias de las mallas Núm. 75.0 a la Núm. 9.5, es solamente para determinar su tamaño máximo.
- d) El cálculo de la composición granulométrica se hará tomando en cuenta las indicaciones

hechas en el párrafo d) del análisis granulométrico estándar descrito en el inciso (002-H.02) de este Capítulo, sin embargo, en este caso no es necesario dibujar la curva correspondiente y no se determinan los coeficientes de curvatura y uniformidad del material, concretándose a reportar los siguientes resultados:

- d1) Tamaño máximo del material, de acuerdo con la denominación de la malla correspondiente.
- d2) Fracción que pasa la malla Núm. 75.0 y se retiene en la malla Núm. 4.75, en por ciento; esta fracción representa el contenido de grava con relación al peso de la muestra seca.
- d3) Fracción que pasa la malla Núm. 4.75 y se retiene en la malla Núm. 0.075, en por ciento, con relación al peso de la muestra seca; esta fracción representa el contenido de arena.
- d4) Fracción que pasa la malla Núm. 0.075, en por ciento, con relación al peso de la muestra seca; esta fracción representa el contenido de finos.
- e) Las causas más frecuentes de error al efectuar esta prueba son las anotadas en el párrafo (002-H.02.f) de este Capítulo.

002-H.04 Cuando se requiera conocer con mayor exactitud el porcentaje del material que pasa la Malla Núm. 0.075, la muestra obtenida como se indicó en el subpárrafo b1) del párrafo (002-H.03.b) de esta Cláusula, se secará a peso constante en el horno a una temperatura de ciento cinco más menos cinco grados centígrados ($105 \pm 5^{\circ}\text{C}$) y se registrará este peso como W_d . A continuación se someterá a un lavado, colocándola en un reci

piente provisto de vertedero y aplicándole una corriente de agua en forma continua y de tal manera que derrame sobre la malla Núm. 0.075, convenientemente colocada; durante este proceso la muestra se agitará en forma adecuada para propiciar el arrastre de la fracción fina, suspendiendo el lavado cuando el agua que salga del vertedero esté clara; se dejará escurrir la muestra y a continuación se seca en el horno a peso constante, a una temperatura de ciento cinco más menos cinco grados centígrados ($105 \pm 5^{\circ}\text{C}$); posteriormente se saca del horno, se deja enfriar a la temperatura ambiente y se determina su peso registrándolo como W_d , con aproximación de un (1) gramo. La diferencia entre W_d y W_d' , es el peso de la fracción que pasa la malla Núm. 0.075, el cual se expresará en por ciento con respecto al peso de la muestra seca original.

002-I DETERMINACION DE LOS LIMITES DE PLASTICIDAD Y DE LA CONTRACCION LINEAL

002-I.01 Los métodos de prueba a que se refiere esta Cláusula tienen por objeto conocer las características de plasticidad de la porción de suelo que pasa la malla Núm. 0.425, cuyos resultados se utilizarán principalmente para la identificación y clasificación de los suelos.

a) La plasticidad es la propiedad de algunos suelos que les permite, bajo ciertas condiciones de humedad, mantener la deformación producida por un esfuerzo que les ha sido aplicado en forma rápida, sin agrietarse, desmoronarse o sufrir cambios volumétricos apreciables. Esta propiedad es originada por fenómenos electroquímicos, que propician la formación de una capa de agua absorbida de consistencia viscosa, alrededor de las partículas, cuyo efecto en la interacción de dichas partículas determina el comportamiento plástico del suelo.

b) De acuerdo con su contenido de agua, los

suelos pueden presentar algunos de los siguientes cinco (5) estados de consistencia:

- b1) Estado líquido, cuando manifiestan las propiedades de una suspensión.
- b2) Estado semilíquido, cuando los suelos tienen el comportamiento de un fluido viscoso.
- b3) Estado plástico, en el cual los suelos presentan las propiedades de plasticidad señaladas en el párrafo a) de este inciso.
- b4) Estado semisólido, en el que la apariencia de los suelos es la de un sólido; sin embargo, al secarse disminuyen de volumen.
- b5) Estado sólido, en el que el volumen de los suelos no varía aún cuando se les somete a secado.
- c) Las fronteras entre los estados de consistencia mencionados en el párrafo b) de este inciso, fueron establecidos por Atterberg bajo el nombre general de límites de consistencia, los cuales se indican a continuación:
 - c1) Límite líquido, es el contenido de agua que marca la frontera entre los estados semilíquido y plástico.
 - c2) Límite plástico, es el contenido de agua que marca la frontera entre los estados plástico y semisólido.
 - c3) Límite de contracción, es el contenido de agua que marca la frontera entre los estados semisólido y sólido.
- d) A la diferencia aritmética entre el límite líquido y el límite plástico, se le denomina índice plástico.

- e) La contracción lineal de un suelo es la reducción del volumen del mismo, medida en una de sus dimensiones y expresada como porcentaje de la dimensión original, cuando la humedad se reduce desde la correspondiente al límite líquido hasta la del límite de contracción.
- f) Para definir las características de plasticidad de los suelos se utilizan el límite líquido, el índice plástico y la contracción lineal.

002-1.02 Para la determinación del límite líquido de un suelo por el método estándar, se emplea el procedimiento de Casagrande, según el cual se define como límite líquido el contenido de agua de la fracción del suelo que pasa la malla Núm. 0.425, cuando al ser colocada en la copa de Casagrande y efectuar en ella una ranura trapecial de dimensiones especificadas, los bordes inferiores de la misma se ponen en contacto en una longitud de trece punto cero (13.0) milímetros, después de golpear la copa veinticinco (25) veces, dejándola caer contra una superficie dura de características especiales, desde una altura de un (1) centímetro, a la velocidad de dos (2) golpes por segundo. En el método estándar el límite líquido se determina gráficamente mediante la curva de fluidez, la que se obtiene uniendo los puntos que representan los contenidos de agua correspondientes a diversos números de golpes, para los cuales la ranura se cierra en la longitud especificada.

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

Cápsula de porcelana de doce (12) centímetros de diámetro.

Espátula de hoja de acero flexible de siete punto cinco (7.5) centímetros de longitud y dos (2) centímetros de ancho, con punta re

donda.

Cuentagotas.

Copa de Casagrande calibrada para una altura de caída de un (1) centímetro, provista de ranuradores, uno plano y otro curvo, con las características que se indican en la Figura Núm. 33.

Vidrios de reloj.

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

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

Desecador de cristal conteniendo cloruro de calcio anhidro.

Vaso o recipiente con capacidad de cero punto cinco (0.5) litros.

Paño absorbente.

- b) En la preparación de la muestra para determinar los límites de plasticidad y la contracción lineal, se emplean doscientos cincuenta (250) gramos de material previamente cribado por la malla Núm. 0.425, los cuales se toman de una porción representativa obtenida de acuerdo con lo indicado en la cláusula (002-D) de este Capítulo. La muestra se coloca en un recipiente apropiado, se le agrega agua en la cantidad necesaria para que tome el aspecto de material saturado y se deja en reposo durante veinticuatro (24) horas aproximadamente, en un lugar fresco, cubriendo el recipiente con un paño que se mantendrá húmedo a fin de reducir al mínimo la pérdida de agua por evaporación.
- c) La prueba se efectuará en la forma siguien

te:

- c1) Se toma una porción de ciento cincuenta (150) gramos, aproximadamente, de la muestra preparada, de acuerdo con lo indicado en el párrafo b) de este inciso; se coloca en la cápsula de porcelana y se procede a homogeneizar la humedad con la espátula.
- c2) Logrado lo anterior se coloca en la copa de Casagrande, previamente calibrada, una cantidad suficiente de material para que una vez extendido por medio de la espátula se tenga un espesor de ocho (8) a diez (10) milímetros en la parte central de la muestra colocada. Para extender el material se procede del centro hacia los lados, sin aplicarle una presión excesiva y con el mínimo de pasadas de la espátula, Figura Núm. 34.
- c3) Se efectúa una ranura en la parte central del material que contiene la copa, con una pasada firme del ranurador, manteniéndolo siempre normal a la superficie interior de la copa como se indica en la Figura Núm. 35. La localización, forma y diensiones que debe tener la ranura en su parte central se ilustran en la Figura Núm. 36. En el caso de materiales arenosos en que es probable que deslicen sobre la copa cuando se use el ranurador curvo, podrán darse hasta seis (6) pasadas profundizando paulatinamente la ranura, de manera que solamente en la última pasada el ranurador toque el fondo de la copa.
- c4) Se acciona la manivela del aparato para hacer caer la copa, a razón de dos (2) golpes por segundo y se registra el núme

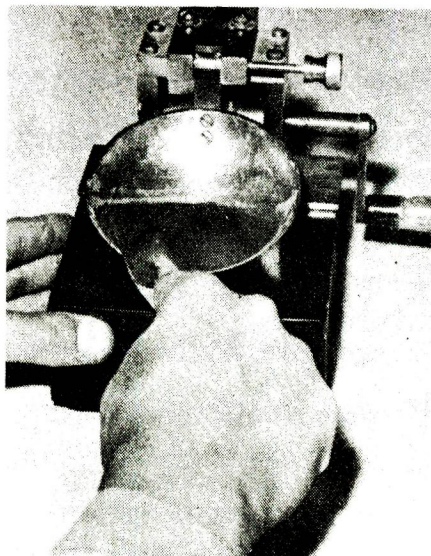


Figura Núm. 34. Colocación del material en la copa de Casagrande.

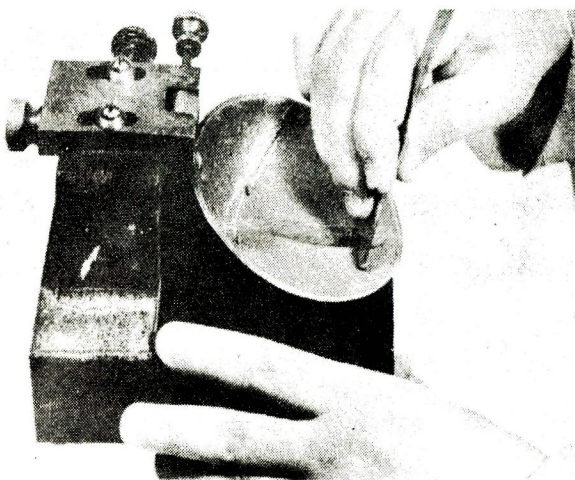
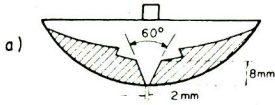


Figura Núm. 35. Formación de la ranura en la determinación del límite líquido.

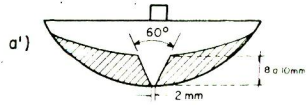
VISTAS DE LAS RANURAS EN SECCION

RANURA EFECTUADA
CON RANURADOR PLANO



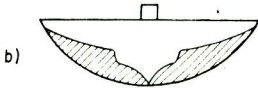
ANTES DE GOLPEAR LA COPA

RANURA EFECTUADA
CON RANURADOR CURVO

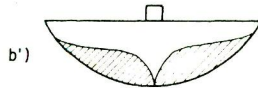


ANTES DE GOLPEAR LA COPA

CORTE A-A



DESPUES DE GOLPEAR LA COPA



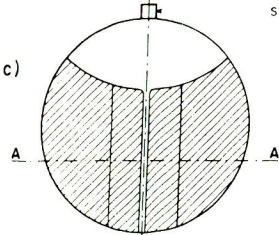
DESPUES DE GOLPEAR LA COPA

CORTE B-B

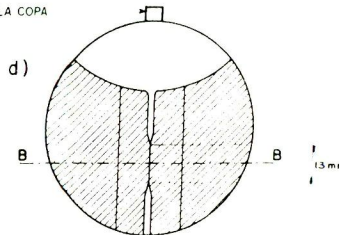
VISTA DE LA RANURA EN PLANTA (RANURADOR CURVO)

EJE DE LA RANURA

SUJECION DE LA COPA



ANTES DE GOLPEAR LA COPA



DESPUES DE GOLPEAR LA COPA

FIGURA NUM. 36. FORMA Y DIMENSIONES DE LAS RANURAS

ro de golpes necesarios para lograr que los bordes inferiores de la ranura se pongan en contacto en una longitud de trece (13) milímetros.

- c5) Una vez logrado lo anterior se toman con la espátula aproximadamente diez (10) gramos de material de la porción cerrada de la ranura y se colocan en un vidrio de reloj, para proceder de inmediato a determinar su contenido de agua, de acuerdo con el procedimiento indicado en el inciso (002-E.02) de este Capítulo.
- c6) A continuación y una vez que se ha tomado la muestra para la determinación de la humedad, se regresa a la cápsula de mezclado el material que contiene la copa, se lavan y secan tanto la copa como el ranurador.
- c7) En seguida se agrega agua con el cuentagotas al material contenido en la cápsula, se homogeneiza con la espátula y se realizan las etapas descritas en los subpárrafos c2) a c6) de este párrafo, para obtener cuatro (4) series de valores, incrementando siempre el contenido de agua para cada proceso.
- c8) La cantidad de agua que se adicione al material deberá ser en tal forma que las cuatro (4) determinaciones efectuadas, queden comprendidas entre diez (10) y treinta y cinco (35) golpes, siendo necesario obtener dos (2) valores arriba y dos (2) abajo de veinticinco (25) golpes. Para consistencias menores de diez (10) golpes es difícil identificar el momento de cierre de la ranura en la longitud especificada; por otra parte, para más de

treinta y cinco (35) golpes, se dificulta la ejecución de la prueba.

- d) Se dibujan los puntos correspondientes a cada determinación en un papel semilogarítmico cuyas abscisas representan en escala logarítmica, el número de golpes y las ordenadas, en escala aritmética, los respectivos contenidos de agua. A continuación se traza la línea recta que pase lo más cerca posible de cuando menos tres (3) de los puntos obtenidos; la línea así trazada se denomina curva de fluidez, cuya ordenada correspondiente a veinticinco (25) golpes, se reporta como el límite líquido del suelo, expresado como contenido de agua en por ciento y redondeado al número entero más cercano. En la Figura Núm. 37 se ilustra un ejemplo de cálculo del límite líquido.
- e) Las causas de error más frecuentes son las siguientes:
- e1) Que al efectuar la prueba la ranura se cierre debido al deslizamiento del suelo sobre la copa y no al flujo provocado por los golpes.
 - e2) Desajuste en el aparato de Casagrande. Se debe verificar antes de cada prueba que la altura de caída de la copa sea de un (1) centímetro, utilizando para ello el mango calibrado del ranurador que tiene precisamente esa dimensión. Si la altura de caída es diferente de la especificada, debe corregirse el aparato ajustando los tornillos de que está provisto para tal fin. Asimismo, se debe verificar que las dimensiones del ranurador sean las especificadas.

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

OBRA: MONTERREY-REYNOSA
 LOCALIZACION: Km 103+000
 SONDEO NUM. 20 ENSAYE NUM. 204
 MUESTRA NUM. 63 PROFUNDIDAD: 0.40m
 DESCRIPCION: ARCILLA CAFE,
MATERIAL EMPLEADO EN LA TERRACERIA

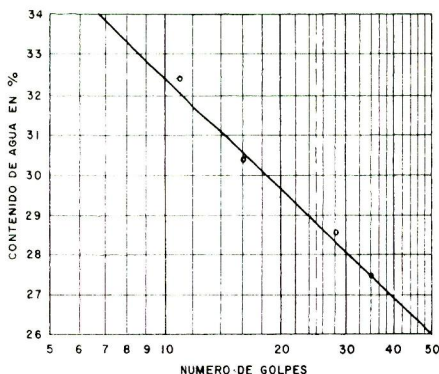
FECHA: 7-VII-65
 LABORATORISTA: DAVID MENDIZABAL

LIMITE LIQUIDO

NUMERO DE GOLPES	VIDRIO DE RELOJ NUM.	PESO TARA + SUELO HUMEDO g	PESO TARA + SUELO SECO g	PESO DEL AGUA g	PESO DE LA T A R A g	PESO DEL SUELO SECO g	CONTENIDO DE AGUA (w) %
34	136	23.03	21.00	2.03	19.63	7.37	27.5
28	112	21.74	19.59	2.15	12.06	7.53	28.6
16	117	24.17	21.76	2.41	15.82	7.94	30.4
11	66	24.00	21.64	2.36	14.35	7.29	32.5

LIMITE PLASTICO

108	21.39	20.38	1.01	13.28	7.10	14.3
412	21.85	20.97	0.88	14.70	6.27	14.1
312	21.61	20.63	0.98	14.25	6.38	15.4



LL = 29 %

LP = 15 %

Ip = 14 %

CONTRACCION LINEAL

L_i = 10.00 cm

L_f = 9.20 cm

CL = $\frac{L_i - L_f}{L_i} \times 100 = \underline{8}$ %

OBSERVACIONES: _____

FIGURA NUM. 37. DETERMINACION DE LOS LIMITES DE PLASTICIDAD Y DE LA CONTRACCION LINEAL.

- e3) Desgaste de la base del aparato, achatamiento de la copa o fallas atribuibles a defectos del aparato. Cuando estos defectos son de cierta consideración se debe verificar la precisión del aparato haciendo pruebas comparativas con otras copas de Casagrande en buenas condiciones.
- e4) Pérdida de agua por evaporación en la muestra, debido a que la prueba no se realice en lugares frescos y exentos de corriente de aire.
- e5) Que la cantidad de material colocado en la copa sea insuficiente para tener un espesor mínimo de ocho (8) milímetros en el centro de la ranura. Para evitar lo anterior es conveniente poner material en cantidad ligeramente excedida y eliminar el sobrante al enrasarlo con la espátula.
- e6) La presencia de burbujas de aire entre el material y la copa, originadas por una maala colocación de aquél, que hace que fluya con mayor facilidad, traduciendo en un límite líquido menor que el real.
- e7) Que la caída de la copa no se efectúe a una velocidad uniforme de dos (2) golpes por segundo.
- e8) Que la forma, dimensiones y ubicación de la ranura sean diferentes de las especifii cadas, lo cual puede deberse a defectos del ranurador o al manejo inadecuado de éste al practicar la ranura en una posición incorrecta.
- e9) Que la copa y el ranurador no estén limpios antes de cada determinación.
- e10) Que se incorpore material seco para reduyir la humedad de la muestra de prueba, o

bien que no se efectúe un amasado correcto de ésta.

002-I.03 El límite líquido de un suelo por el método simplificado, se determina conociendo un solo punto de su curva de fluidez. Este método es más sencillo que el estándar, pero puede ser menos preciso, por lo cual cuando se juzgue necesario se recomienda verificar sus resultados con el método estándar.

- a) El equipo requerido es el que se describe en el inciso (002-I.02) de este Capítulo, correspondiente al método estándar.
- b) La prueba se desarrolla en términos generales de acuerdo con lo indicado en el inciso (002-I.02), excepto que se efectúa una sola determinación, verificando con dos (2) cierres de ranura y aplicando un número de golpes que esté comprendido entre veinte (20) y treinta (30), tomando la muestra correspondiente para la obtención de su contenido de agua.
- c) El límite líquido se obtiene empleando cualquiera de los dos (2) procedimientos que se indican a continuación:
 - c1) Aplicando la siguiente fórmula:

$$LL = w_N (N/25)^{0.12}$$

En donde:

LL es el límite líquido del suelo, expresado como contenido de agua, en por ciento.

w_N es el contenido de agua de la muestra respectiva, a la cual le fue aplicado un número N de golpes en la prueba, en por ciento.

N es el número de golpes necesario para

lograr que los bordes inferiores de la ranura se pongan en contacto en una longitud de trece (13) milímetros.

En la siguiente tabla se dan los valores del factor $(N/25)^{0.12}$, para distintos valores de N.

<u>N</u>	<u>$(N/25)^{0.12}$</u>
20	0.974
21	0.979
22	0.985
23	0.990
24	0.995
25	1.000
26	1.005
27	1.009
28	1.014
29	1.018
30	1.022

- c2) Utilizando la gráfica de la Figura Núm. 38, para lo cual se ubicarán en los ejes respectivos, los puntos correspondientes a la humedad w_N , y al número de golpes N obtenidos según el párrafo b) de este inciso, y por ellos se traza una recta; la intersección de esta recta con el eje vertical LL definirá el límite líquido del suelo.
- c3) Se reporta como límite líquido LL el valor obtenido mediante la aplicación de cualquiera de los dos (2) procedimientos descritos, redondeándolo al número entero más cercano.
- d) Las causas de error más frecuentes en la ejecución de esta prueba son las mismas que se indican en el párrafo e) del inciso (002 I.02) de este Capítulo.

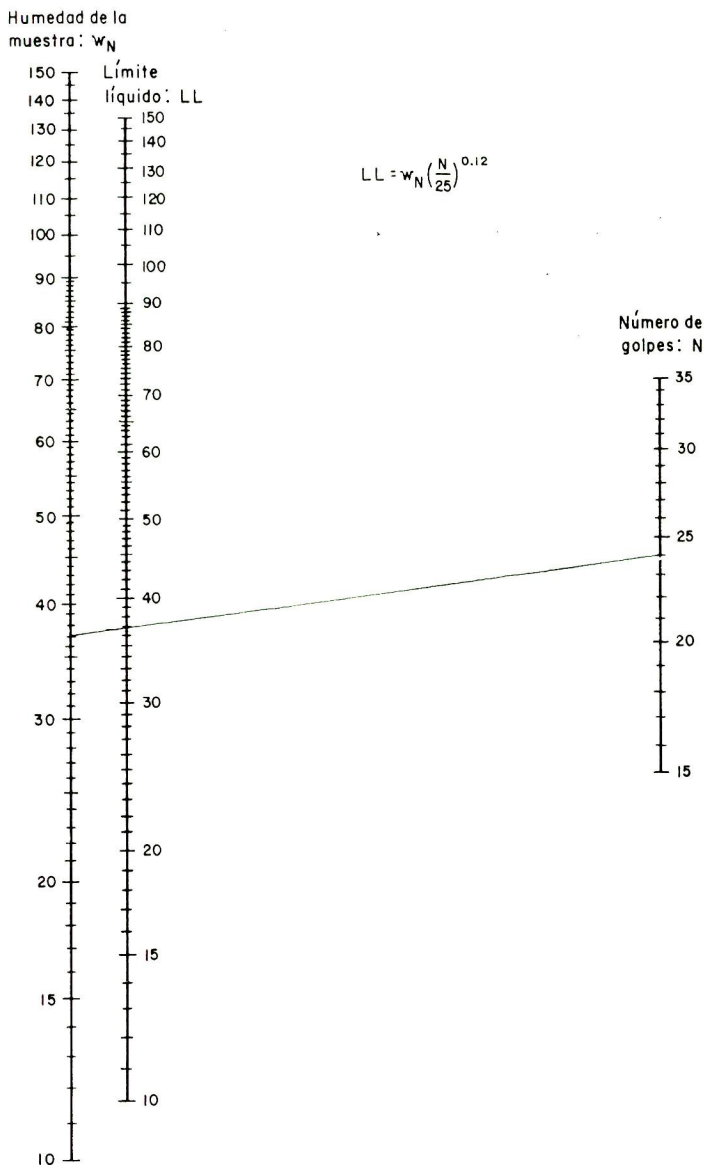


FIGURA NUM. 38. GRAFICA PARA CALCULAR EL -
LÍMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS

002-I.04 El límite plástico de un suelo se define como el mínimo contenido de agua de la fracción que pasa la malla Núm. 0.425, para que se pueda formar con ella cilindros de tres (3) milímetros, sin que se rompan o deformen.

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

Cápsula de porcelana de doce (12) centímetros de diámetro.

Espátula de hoja de acero flexible de siete punto cinco (7.5) centímetros de longitud y dos (2) centímetros de ancho, con punta redonda.

Placa de vidrio con dimensiones mínimas aproximadas de cuarenta (40) por cuarenta (40) centímetros de lado y cero punto seis (0.6) centímetros de espesor.

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

Alambre de acero, de tres (3) milímetros de diámetro y diez (10) centímetros de longitud.

Vidrios de reloj.

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

Desecador de cristal conteniendo cloruro de calcio anhidro.

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

- bl) Se toma una muestra del material preparado de acuerdo con lo indicado en el párrafo b) del inciso (002-I.02) de esta Cláusula

sula, a la cual se le da la forma de una pequeña esfera de aproximadamente doce (12) milímetros de diámetro, que deberá moldearse con los dedos para que pierda la humedad y se forme un cilindro manipulándola sobre la palma de la mano, aplicando con los dedos la presión necesaria para tal objeto.

- b2) A continuación se rola el cilindro con los dedos de la mano sobre la placa de vidrio, dándole la presión requerida para reducir su diámetro hasta que éste sea uniforme en toda su longitud y ligeramente mayor de tres (3) milímetros, Figura Núm. 39. La velocidad de rolado debe ser de sesenta (60) a ochenta (80) ciclos por minuto, entendiéndose por ciclo un movimiento completo de la mano hacia adelante y hacia atrás, hasta volver a la posición de partida.
- b3) Si al alcanzar dicho diámetro de tres (3) milímetros, el cilindro no se rompe en varias secciones simultáneamente, su humedad es superior a la del límite plástico. En este caso se debe juntar todo el material y formarse nuevamente una pequeña esfera, manipulándola con los dedos para facilitar la pérdida de agua y lograr una distribución uniforme de la misma.
- b4) Se repiten todas las operaciones descritas en los subpárrafos b1) a b3) de este párrafo, hasta que el cilindro se rompa en varios segmentos precisamente en el momento de alcanzar el diámetro de tres (3) milímetros; dicho diámetro se verificará comparándolo con el alambre de referencia.
- b5) En seguida se colocan en un vidrio de re

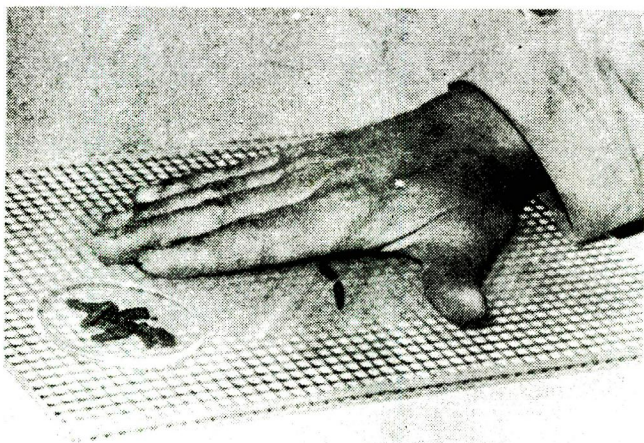


Figura Núm. 39. Operación para formar el cilindro de suelo en la determinación del límite plástico.

Se toman todos los fragmentos en que se haya dividido el cilindro y se efectúa la determinación de humedad correspondiente, de acuerdo con lo especificado en el inciso (002-E.02) de este Capítulo.

- b6) Para mayor seguridad en los resultados de la prueba, se deben llevar a cabo por lo menos tres (3) determinaciones sucesivas del límite plástico, en cada muestra.
- b7) Los suelos con los que no es posible formar cilindros del diámetro especificado, con ningún contenido de agua, se consideran como no plásticos.
- c) Se reporta como límite plástico del suelo, el promedio de las humedades que concuerden entre sí; dicho promedio se redondea al número entero más cercano. En la Figura Núm. 37, se ilustra un ejemplo de cálculo del lí

mite plástico.

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

d1) Imprecisión en las operaciones de pesado. Como la cantidad de muestra que se toma para determinar el contenido de agua es muy pequeña, cualquier error en este sentido influirá notablemente, por lo que deberán extremarse las precauciones para lograr pesadas correctas.

d2) Agregar material seco para reducir el contenido de agua de la muestra. La reducción de agua deberá lograrse manipulando la muestra en la forma indicada en el subpárrafo b3), párrafo b) de este inciso, para no perder la homogeneidad alcanzada durante la preparación de la misma.

d3) Que el cilindro de suelo se rompa antes de alcanzar el diámetro de tres (3) milímetros, ya que en este caso su humedad sería menor que la del límite plástico.

d4) Que la placa de vidrio no se encuentre limpia antes de cada determinación, ya que ésto dificulta o impide la formación del cilindro.

d5) Que al alcanzar el cilindro el diámetro de tres (3) milímetros, el operador lo rompa en forma deliberada, modificando la presión, la velocidad de rolado o ambas cosas.

d6) Que para la determinación de la humedad no se tomen todos los fragmentos en que se dividió el cilindro al alcanzar el límite plástico.

002-I.05 El índice plástico de un suelo mide el inter

valo de variación de la humedad dentro del cual el suelo presenta una consistencia plástica, de acuerdo con los conceptos expresados en el inciso (002-I.01) de este Capítulo; los límites líquido y plástico corresponden a las fronteras superior e inferior de dicha consistencia, respectivamente.

- a) El índice plástico, definido como la diferencia aritmética entre los límites líquido y plástico, se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$IP = LL - LP$$

En donde:

IP es el índice plástico del suelo, en por ciento.

LL es el límite líquido del suelo, en por ciento.

LP es el límite plástico del suelo, en por ciento.

- b) Se reporta como índice plástico la diferencia calculada según se indicó en el párrafo a) de este inciso, exceptuándose los siguientes casos:

b1) Cuando el suelo sea muy arenoso y no pueda determinarse el límite plástico, se reportan el límite plástico y el índice plástico como NP (no plástico).

b2) Cuando el límite plástico sea igual o mayor que el límite líquido, se reporta el índice plástico como NP.

002-I.06 La contracción lineal de un suelo se define como la reducción en la mayor dimensión de un espécimen de forma prismática rectangular, elaborado con la fracción de suelo que pasa la malla Núm. 0.425, cuando su humedad disminuye desde la correspondiente al límite líquido hasta la del límite de contracción, expresada di

cha reducción como un porcentaje de la longitud inicial del espécimen.

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

Cápsula de porcelana de doce (12) centímetros de diámetro.

Espátula de hoja de acero flexible de siete punto cinco (7.5) centímetros de longitud y dos (2) centímetros de ancho.

Moldes de lámina galvanizada del Núm. 16, con sección de dos (2) por dos (2) centímetros y de diez (10) centímetros de longitud.

Calibrador con vernier del tipo Máuser.

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

Grasa grafitada.

- b) Para esta determinación se utilizará una muestra preparada de acuerdo con lo especificado en el párrafo b) del inciso (002-I.02) de este Capítulo, o bien se aprovechará el material húmedo que haya sobrado de la determinación del límite líquido.

- c) La prueba se efectúa en la forma siguiente:

c1) Se agrega a la muestra agua o material menos húmedo tomado de la porción preparada, hasta lograr que la humedad sea la correspondiente a la del límite líquido, lo cual se verifica empleando la copa de Casagrande y cumpliendo con la condición de que la ranura se cierre en una longitud de trece (13) milímetros precisamente a los veinticinco (25) golpes.

c2) Con el material preparado en las condicio

nes indicadas se procede a llenar el molde de prueba, Figura Núm. 40, al cual se le habrá aplicado previamente una capa delgada de grasa en su interior para evitar que el material se adhiera a sus paredes. El llenado del molde se efectúa en tres (3) capas, utilizando la espátula y golpeándolo después de la colocación de cada capa contra una superficie dura; para ésto último, deberá tomarse el molde por sus extremos, Figura Núm. 41, procurando siempre que el impacto lo reciba en toda su base, lo cual se logra conservando paralelismo entre dicha base y la superficie sobre la cual se golpea. En cada caso las operaciones de golpeo deberán prolongarse lo suficiente para lograr la expulsión del aire contenido en la muestra colocada, lo que se pone de manifiesto cuando ya no aparecen burbujas en su superficie.

- c3) A continuación se enrasa el material en el molde utilizando la espátula y se deja orear a la sombra hasta que cambie ligeramente su color, después de lo cual se pone a secar en el horno por un período de dieciocho (18) horas, aproximadamente, a una temperatura de ciento cinco más menos cinco grados centígrados ($105 \pm 5^{\circ}\text{C}$).
- c4) Se extrae del horno el molde con el espécimen, se deja enfriar a la temperatura ambiente y a continuación se saca la barra del molde.
- c5) Finalmente, se mide con el calibrador la longitud media de la barra del material seco y la longitud interior del molde, Figura Núm. 42, con aproximación de cero

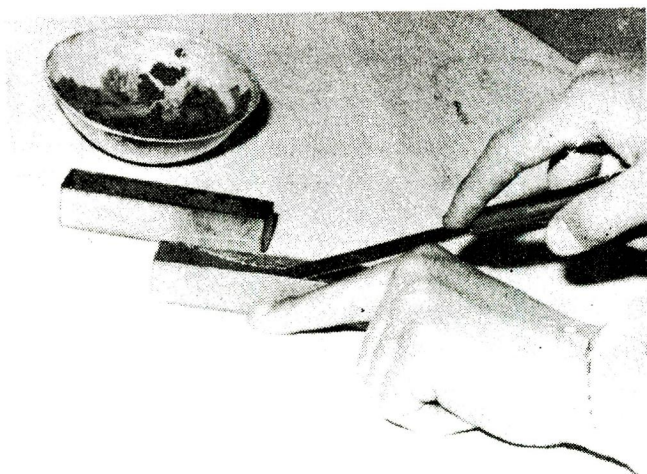


Figura Núm. 40. Llenado de los moldes para la determinación de la contracción lineal.

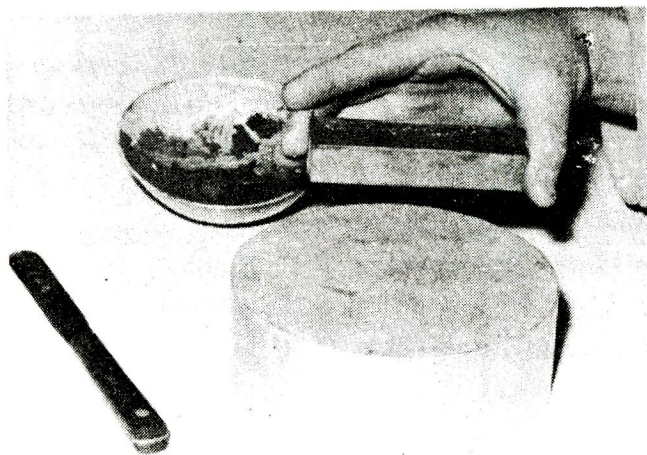


Figura Núm. 41. Golpeado de los moldes de contracción lineal.

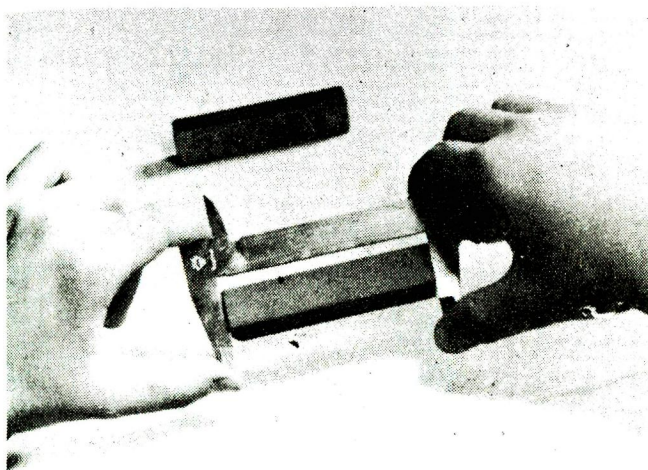


Figura Núm. 42. Medición de las barras de suelo.

punto cero un (0.01) centímetro.

- d) La contracción lineal se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$CL = \frac{L_i - L_f}{L_i} \times 100$$

En donde:

CL es la contracción lineal aproximada al décimo más cercano, en por ciento.

L_i es la longitud inicial de la barra de suelo húmedo, que corresponde a la longitud interior del molde, en centímetros.

L_f es la longitud media de la barra de suelo seco, en centímetros.

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

- e1) Engrasado deficiente del interior del molde, lo que ocasiona que el espécimen se rompa al contraerse.
- e2) La forma incorrecta de golpear el molde, lo que puede ocasionar deficiencias de acomodación en el material, como la que ocurriría si para golpear el molde se sujeta sólo por uno de sus extremos, originando concentraciones de material en alguno de éstos.
- e3) No dar el número necesario de golpes a la barra para eliminar el aire contenido en el material.
- e4) Exponer el espécimen al sol o introducirlo en el horno inmediatamente después de elaborado, originando con ello que se agriete o deforme, principalmente cuando se trata de materiales muy plásticos.
- e5) Medir incorrectamente la longitud final de la barra, sobre todo cuando se rompa o arquee excesivamente.

002-J DETERMINACION DE LOS PESOS ESPECIFICOS O PESOS VOLUMETRICOS DE LOS SUELOS

002-J.01 La determinación de los pesos específicos o volumétricos de los suelos, se hará tomando en cuenta lo indicado en la cláusula (002-G) de este Capítulo, en la que se establecen los conceptos de peso específico o volumétrico del material húmedo, γ_m , y peso específico o volumétrico del material seco, γ_d .

- a) De acuerdo con la capacidad del suelo o grado de acomodación que presenten sus partículas sólidas, los pesos específicos o volumétricos pueden ser:
 - a1) Peso específico o volumétrico del suelo en estado natural, cuando el acomodación que

tienen sus partículas es consecuencia de un proceso de la naturaleza. Este peso volumétrico es el que corresponde a la condición que tienen los materiales en los bancos en su estado original y en general, es el que se refiere al terreno natural sin haber sido removido.

- a2) Peso específico o volumétrico del suelo en estado suelto, cuando su estructura natural ha sido alterada por algún proceso artificial como el de extracción, disgregación, cribado, trituración, etc., y que se ha depositado o almacenado sin someterlo a ningún tratamiento especial de compactación. Este peso específico es variable para un mismo material de acuerdo con el acomodo que adopten sus partículas sólidas, dependiendo de diversos factores, tales como el sistema de carga, el medio de transporte, tipo y altura de almacenamiento, etc. Para que el peso específico o volumétrico de un material suelto sea representativo, deberá determinarse en las condiciones reales de trabajo o de almacenamiento en que se encuentre.
- a3) Peso específico o volumétrico del suelo en estado compacto, cuando las partículas sólidas que lo constituyen han adquirido un cierto acomodo por algún procedimiento de compactación. En este caso se presentan dos (2) posibilidades, siendo una de ellas la que toma en cuenta la totalidad de las partículas del material y la otra, que considera sólo la fracción del material que pasa por determinada malla. La primera se aplica generalmente para el cálculo de coeficiente de variación volu

métrica y la segunda para obtención de grados de compactación.

- a4) En general, al referirse al peso específico o volumétrico de un material en el lugar, se trata de los pesos específicos de terminados en los estados natural o compacto del suelo, "in situ".

002-J.02 El peso específico o volumétrico de un suelo en estado suelto sirve principalmente para determinar los coeficientes de variación volumétrica y puede determinarse en el campo o en el laboratorio. Cuando la prueba se efectúa en el laboratorio, se sigue el procedimiento indicado en el inciso (002-J.03), excepto que la muestra no se seca al prepararse y no es necesario de terminar su contenido de agua. La determinación del peso específico o volumétrico del suelo en estado suelto en el campo, deberá tratar de reproducir las condiciones reales de trabajo, por lo que el procedimiento que se aplique para medir el peso y el volumen del material en estudio, dependerá del tipo de recipiente y de la forma de llenarlo con el suelo; así por ejemplo, para efectos de acarreos, será necesario medir el peso del material depositándolo en la caja del camión, con el equipo de carga que se vaya a utilizar en la obra, determinando su peso total en una báscula para vehículos o bien, si no se dispone de esta báscula, pesando el material en forma parcial, y calculando el volumen de la caja por medición directa.

002-J.03 La determinación del peso específico o volumétrico de un suelo seco y suelto en el laboratorio, consiste en obtener la relación entre el peso del material y su volumen, una vez que la muestra respectiva ha sido debidamente preparada y corregir el valor encontrado de acuerdo con el contenido de agua.

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

Cucharón de lámina.

Recipiente de lámina galvanizada Núm. 14, de forma cilíndrica, de diez (10) litros de capacidad, con medidas interiores de veinti cinco punto veinticuatro (25.24) centíme tros de diámetro por veinte (20) centíme tros de altura, y de peso conocido.

Escantillón de veinte (20) centímetros de longitud.

Regla de treinta (30) centímetros.

Balanza de veinte (20) kilogramos de capaci dad y cinco (5) gramos de aproximación.

b) La prueba se efectúa en la forma siguiente:

b1) De una muestra preparada de acuerdo con lo indicado en la cláusula (002-D) de es te Capítulo, se toma por cuarteo la por ción necesaria para llenar completamente el recipiente y se mezcla para homogenei zarla.

b2) Empleando el cucharón de lámina se deja caer el material dentro del recipiente desde una altura de veinte (20) centíme tros, hasta que se llene, utilizando como referencia el escantillón y evitando que el material se reacomode por movimientos indebidos; después se procede a enrasar el material utilizando la regla de trein ta (30) centímetros, Figura Núm. 43.

b3) Se pesa el recipiente conteniendo el mate rial y se registra su peso W_{rm} , con apro ximación de cinco (5) gramos, Figura Núm. 44.

b4) Se determina el contenido de agua del ma terial de acuerdo con lo indicado en la cláusula (002-E), de este Capítulo.



Figura Núm. 43. Llenado del recipiente.

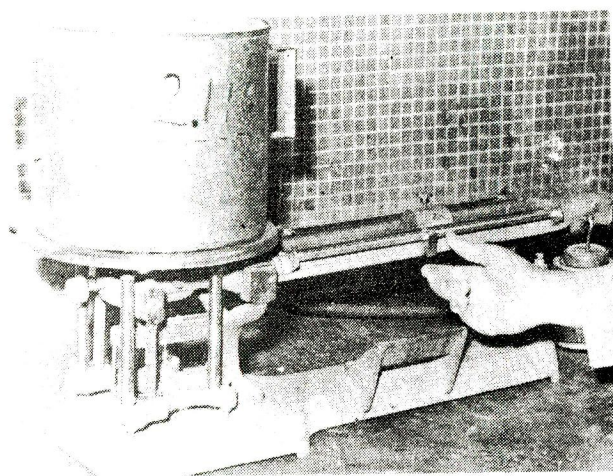


Figura Núm. 44. Operación de pesado del recipiente que contiene el material.

- c) Se calcula el peso específico o volumétrico del material seco y suelto, por medio de la siguiente fórmula:

$$\gamma_d = \frac{100 (W_{rm} - W_r)}{V (100 + w)} = \frac{100 W_m}{V (100 + w)}$$

En donde:

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

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

W_r es el peso del recipiente, en kilogramos.

W_m es el peso del material contenido en el recipiente, en kilogramos.

V es el volumen del recipiente o del material contenido en el mismo, en metros cúbicos.

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

002-J.04 La determinación del peso específico o volumétrico en el lugar, por el método de la trompa y arena se efectúa en los materiales tanto en estado natural como en estado compactado y sirve para obtener los grados de compactación y los coeficientes de variación volumétrica, como se describen en las cláusulas (002-L) y (002-M), respectivamente. La determinación del peso específico o volumétrico en el lugar por este método, consiste esencialmente en hacer una excavación en el sitio de prueba elegido, pesar el material extraído y relacionar este peso con el volumen del sondeo, medido con arena.

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

Cuchara de albañil o espátula con hoja de acero de cinco (5) centímetros de ancho.

Cucharón de lámina.

Barreta de acero con un extremo terminado en punta y el otro terminado en bisel.

Cinzel.

Marro de un (1) kilogramo de peso, aproximadamente.

Dispositivo para colocar la arena en el sondeo, que consiste esencialmente en un recipiente de forma cilíndrica con fondo cónico, y una extensión de tubo metálico flexible, Figura Núm. 45.

Recipiente de calibración metálico e impermeable de forma cilíndrica con diámetro interior y altura de quince (15) centímetros aproximadamente, Figura Núm. 45.

Balanza con capacidad de veinte (20) kilogramos y cinco (5) gramos de aproximación.

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

Charolas metálicas.

Recipientes impermeables tales como bolsas, frascos y botes con tapa.

Arena limpia y seca con partículas densas y redondeadas, cuyos tamaños estén comprendidos entre las mallas Núms. 0.850 y 0.600.

Regla de madera de treinta (30) centímetros.

b) Se verificará previamente el peso específico o volumétrico de la arena, γ_{sd} , en la forma siguiente:

b1) Se determina el volumen V_r , del recipiente

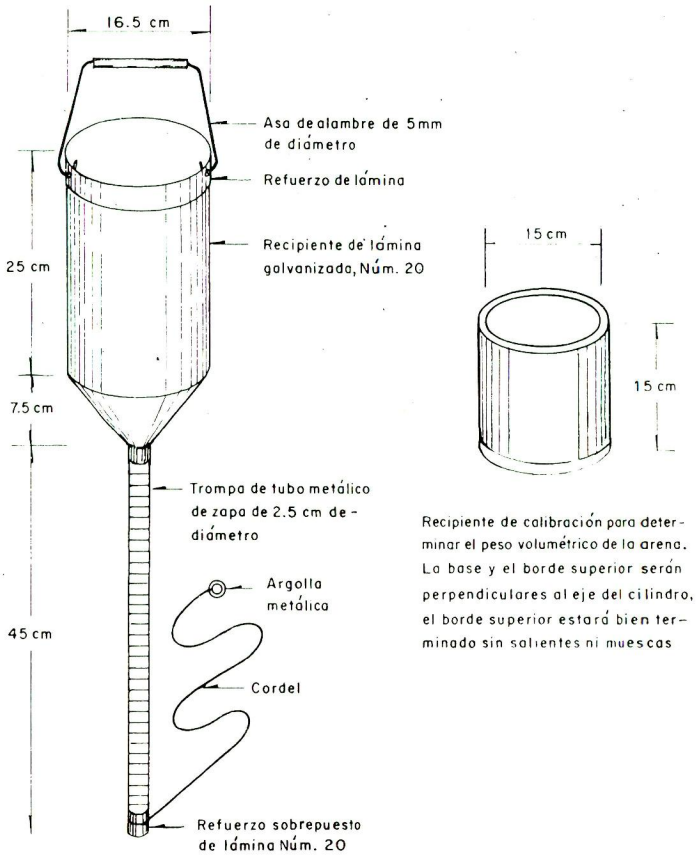


FIGURA NUM. 45. DISPOSITIVO PARA COLOCAR LA ARENA EN EL SONDEO Y RECIPIENTE DE CALIBRACION

te, para lo cual se pesa vacío registrando su peso con aproximación de cinco (5) gramos y a continuación se coloca sobre una superficie plana de manera que su borde superior quede en posición horizontal; se vierte agua en el recipiente evitando la formación de burbujas de aire, hasta llenarlo, lo cual se verifica colocándole sobre el borde una placa de vidrio tratada con una película de aceite delgado; se elimina el agua que se haya derramado en la superficie exterior del molde y se pesa con la aproximación mencionada. La diferencia de pesos entre el recipiente lleno de agua y vacío, en gramos, es para estos fines, numéricamente igual al volumen del recipiente en centímetros cúbicos. Se repite este procedimiento hasta que en tres (3) determinaciones no exista una discrepancia mayor de tres (3) centímetros cúbicos; el promedio de estos tres (3) valores será el volumen V_r , del recipiente, en centímetros cúbicos.

- b2) Se coloca el dispositivo en posición de trabajo, se recoge la trompa con el cor del, manteniéndola en esta posición y se llena con arena su depósito, Figura Núm. 46.
- b3) Se coloca el recipiente en una superficie sensiblemente horizontal y firme, en posición para ser llenado.
- b4) Enseguida se vacía arena dentro del recipiente, para lo cual se introduce la trompa con su extremo levantado hasta tocar el fondo de aquél; logrado lo anterior,

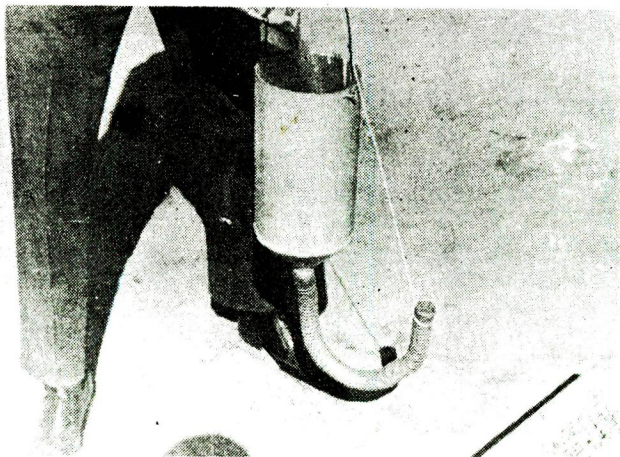


Figura Núm. 46. Colocación de la arena en el dispositivo.

simultáneamente y en forma gradual se le vanta el dispositivo y se suelta el cor del que sujeta la trompa, hasta que ésta quede en posición vertical y deje salir la arena con una altura mínima de caída, permitiéndole que se distribuya en toda la sección del recipiente, para lo cual se desplaza el dispositivo sin que la trompa pierda su posición vertical y se sube lo conveniente a fin de conservar la altura mínima de caída. Esta operación se continúa hasta llenar el recipiente, el que se enrasa con una regla de madera y con el menor número de pasadas.

- b5) Se pesa la arena contenida en el recipiente y se registra su peso en gramos.
- b6) El procedimiento descrito en los subpárrafos b2) a b5) de este párrafo, se repite por lo menos tres (3) veces para obtener el promedio del peso de la arena utilizada para llenar el recipiente mencionado, descartando el valor que discrepe en más de uno por ciento (1%) y repitiendo dichas determinaciones en caso de ser incongruentes. Este promedio es el peso de la arena seca W_{sd} , en gramos.
- b7) Se determina el peso específico o volumétrico de la arena γ_{sd} , empleando la siguiente fórmula:

$$\gamma_{sd} = \frac{W_{sd}}{V_r} \times 1000$$

En donde:

γ_{sd} es el peso específico o volumétrico de la arena seca, en kilogramos por metro cúbico.

W_{sd} es el peso de la arena seca empleada para llenar el recipiente, en gramos.

V_r es el volumen del recipiente, en centímetros cúbicos.

- c) El procedimiento para determinar el peso específico o volumétrico del suelo en el lugar, es el siguiente:
- c1) Una vez seleccionado el sitio en que se efectuará la prueba se limpia y prepara la superficie de tal manera que se tenga una porción sensiblemente plana y libre de partículas sueltas.

- c2) Se efectúa una excavación en el sitio de prueba preparado para el objeto, con dimensiones de acuerdo con el tamaño máximo del material y con el espesor de la capa o estrato, cuyo peso volumétrico se desea determinar; el sondeo deberá hacerse cuidadosamente para evitar alteraciones en sus paredes y fondo, y tendrá un volumen mínimo de acuerdo con la siguiente tabla:

TAMAÑO MAXIMO DEL MATERIAL	VOLUMEN DEL SON- DEO DE PRUEBA NO MENOR DE	MUESTRA MINIMA PARA HUMEDAD
Pasa Malla	Centímetros cúbicos	Gramos
Núm. 4.75	3 000	100
Núm. 12.5	3 000	250
Núm. 25.0	3 500	500
Núm. 50.0	3 500	1 000
Núm. 75.0	4 000	1 000

- c3) Se coloca en un recipiente todo el suelo que se vaya extrayendo del sondeo, tomando las precauciones necesarias para evitar pérdida de material y de humedad.
- c4) Se pesa inmediatamente después el material extraído del sondeo y se registra su peso como W_m , en kilogramos.
- c5) Se mezcla dicho material hasta homogeneizarlo, se toma una muestra representativa, cuyo peso estará de acuerdo con el tamaño máximo del agregado según se indica en la tabla del subpárrafo c2) de este párrafo y se determina su contenido de agua siguiendo el procedimiento indicado en la cláusula (002-E) de este Capítulo, anotando dicho contenido de agua como w , en por

ciento.

- c6) Se pesa arena seleccionada y seca en una cantidad estimativamente superior en veinticinco por ciento (25%) a la requerida para llenar el volumen del sondeo; se anota su peso como W_{Si} , en gramos y con ella se alimenta el dispositivo, manteniendo el tubo flexible recogido con el cordel, para evitar la salida de la arena.
- c7) Se introduce la trompa del dispositivo dentro del sondeo y se vacía en éste la arena siguiendo el procedimiento indicado en el subpárrafo b4), párrafo b) de este inciso, repitiendo el procedimiento las veces que sea necesario para llenar el sondeo, Figura Núm. 47.
- c8) Se determina el peso de la arena que sobró incluyendo la del dispositivo, se anota como W_{Sf} , en gramos y se obtiene por diferencia el peso de la arena W_s , empleada en total para llenar el sondeo, anotándolo en gramos.
- d) En esta prueba se deberá calcular y reportar lo siguiente:
- d1) El volumen del sondeo de prueba, mediante la siguiente fórmula:

$$V_m = \frac{W_{Si} - W_{Sf}}{\gamma_{sd}} \times 1000 = \frac{W_s}{\gamma_{sd}} \times 1000$$

En donde:

V_m es el volumen del sondeo de prueba, en centímetros cúbicos.

W_{Si} es el peso inicial de la arena preparada, en gramos.

W_{Sf} es el peso final de la arena sobran-

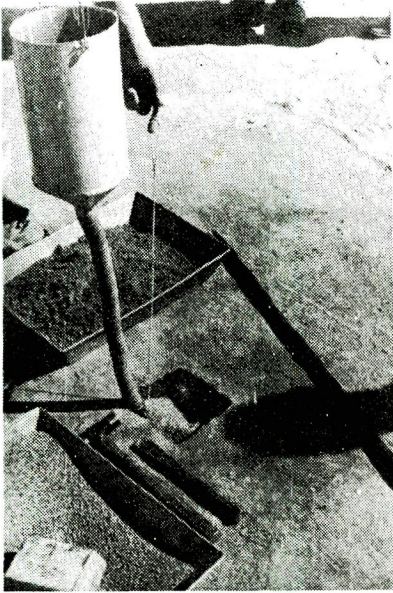


Figura Núm. 47. Operación de llenado con arena del sondeo de prueba.

te incluyendo la del dispositivo, en gramos.

γ_{sd} es el peso específico o volumétrico de la arena empleada en la prueba, en kilogramos por metro cúbico.

W_s es el peso de la arena empleada para llenar el sondeo, en gramos.

d2) Se calcula y reporta el peso específico o volumétrico del material húmedo en el lugar, empleando la siguiente fórmula:

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m} \times 1000$$

En donde:

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

W_m es el peso del material extraído del sondeo, en gramos.

V_m es el volumen del sondeo de prueba, en centímetros cúbicos.

- d3) Se calcula y reporta el peso específico o volumétrico del material en estado seco, en el lugar, empleando la siguiente fórmula:

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

En donde:

γ_d es el peso específico o volumétrico del material en estado seco, en el lugar, en kilogramos por metro cúbico.

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

w es el contenido de agua del material, en por ciento, determinado de acuerdo con lo que se indica en la cláusula (002-E), de este Capítulo.

- e) Las causas más frecuentes de error en estas pruebas son las siguientes:

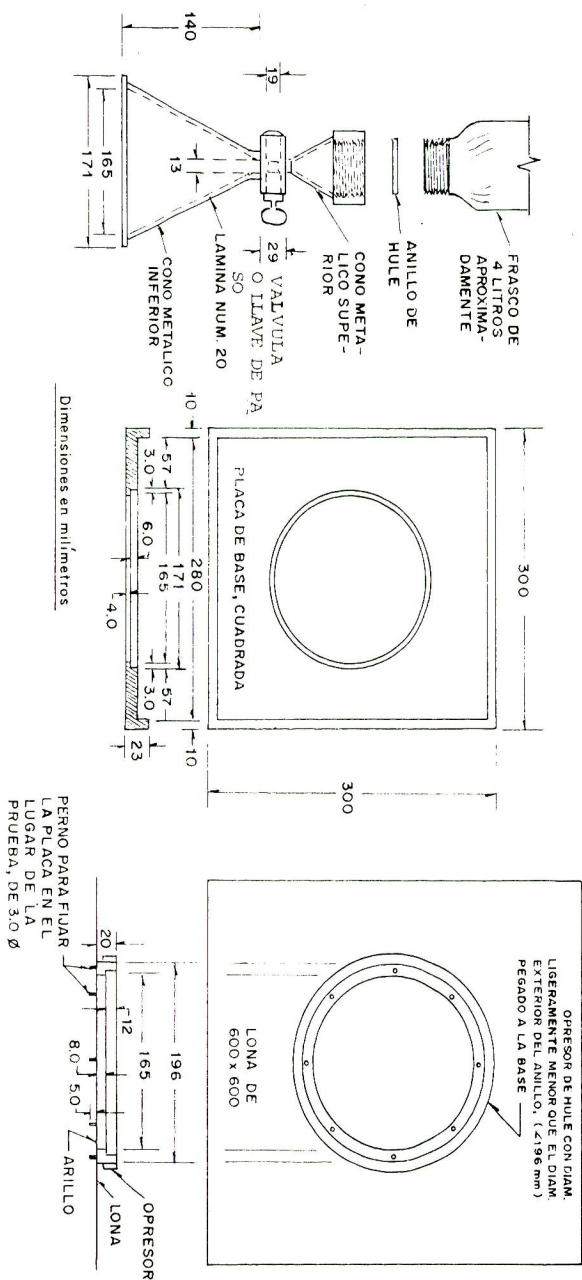
e1) Que las paredes y fondo del sondeo presenten huecos por donde se fugue la arena.

e2) Que la determinación del peso específico o volumétrico de la arena empleada no se verifique con la frecuencia requerida.

e3) Que la arena empleada no esté seca o que no se limpie frecuentemente.

002-J.05 La determinación del peso específico o volumétrico en el lugar por el método del cono y arena, se aplica principalmente a suelos que pasan la malla Núm. 19.0, tanto en su estado natural como en estado compactado; sirve para obtener los grados de compactación de los materiales que forman las terracerías y los coeficientes de variación volumétrica, como se indica en las cláusulas (002-L) y (002-M), respectivamente, de este Capítulo. Es un procedimiento semejante al descrito en el inciso (002-J.04), excepto que la medición del volumen del sondeo con arena graduada de peso específico o volumétrico previamente determinado, se hace utilizando un dispositivo constituido esencialmente por dos (2) conos metálicos que se ajustan a un frasco de material transparente.

- a) El equipo y los materiales necesarios para efectuar esta prueba, son los que se citan en el subpárrafo a) del inciso (002-J.04), sustituyendo el recipiente de calibración por otro con diámetro interior de dieciocho (18) centímetros y altura de diez (10) centímetros y el dispositivo para colocar la arena en el sondeo, por un aparato para medir volúmenes con arena, consistente en un frasco de aproximadamente cuatro (4) litros de capacidad y una sección desmontable constituida por dos (2) conos metálicos unidos entre sí por una válvula cilíndrica que tiene un orificio de trece (13) milímetros de diámetro. Uno de los conos está provisto de rosca, para poder acoplarlo a la boca del recipiente y el otro tiene libre el extremo de mayor diámetro, para colocarlo sobre una base metálica de forma cuadrada o sobre una lona con perforación en el centro, provista de un anillo metálico. La forma y dimensiones del aparato deberán ajustarse a las indicadas en el esquema de la Figura Núm. 48.



- b) Se determina el peso de la arena necesaria para llenar el cono de mayor tamaño, que se denomina cono de arena, siguiendo el procedimiento que se indica a continuación:
- b1) Se vierte arena en el frasco del dispositivo en una cantidad suficiente para llenar el cono de arena, se montan los conos en la boca del frasco y se cierra la válvula.
 - b2) Se pesa el dispositivo conteniendo la arena, anotando su peso como W_{fs} , en gramos.
 - b3) Se pone la base sobre una superficie limpia, a nivel y sensiblemente plana.
 - b4) Se invierte el dispositivo y se coloca sobre la base.
 - b5) Se abre la válvula y se mantiene en estas condiciones hasta que se detenga el flujo de arena, es decir, hasta que se haya llenado el cono de mayor tamaño.
 - b6) Se cierra perfectamente la válvula, se pesa el dispositivo con la arena remanente y se anota este peso como W_{sr} , en gramos.
 - b7) Se determina el peso del cono de arena mediante la fórmula siguiente:

$$W_{sc} = W_{fs} - W_{sr}$$

En donde:

W_{sc} es el peso del cono de arena, en gramos.

W_{fs} es el peso inicial del dispositivo conteniendo arena, en gramos.

W_{sr} es el peso del dispositivo con la arena remanente, en gramos.

- c) El peso específico o volumétrico de la arena

na se determina siguiendo el procedimiento que se indica a continuación:

- c1) Se llena el frasco del dispositivo con la arena limpia y seca, se instalan los conos en la boca del frasco y se cierra la válvula.
- c2) Se pesa el dispositivo conteniendo la arena y se anota dicho peso como W_{fs} , en gramos.
- c3) Se coloca el recipiente de calibración sobre una superficie sensiblemente horizontal y firme en posición para ser llenado. El volumen de dicho recipiente deberá determinarse previamente como se indica en el subpárrafo b1) párrafo b) del inciso (002-J.04) de este Capítulo.
- c4) Se instala sobre el recipiente de calibración la base metálica del aparato sujetándola adecuadamente para evitar fugas de arena y se monta en ésta el dispositivo conteniendo la arena.
- c5) Se abre la válvula y se mantiene en estas condiciones hasta que se detenga el flujo de arena, quedando en esta forma llenos el recipiente de calibración y el cono de arena.
- c6) Se cierra perfectamente la válvula, se pesa el dispositivo con la arena remanente y se anota este peso como W_{fsr} , en gramos.
- c7) Se determina el peso específico o volumétrico de la arena γ_{sd} , empleando la siguiente fórmula:

$$\gamma_{sd} = \frac{W_{sd}}{V_r} \times 1000 = \frac{(W_{fs} - W_{fsr}) - W_{sc}}{V_r} \times 1000$$

En donde:

γ_{sd} es el peso específico o volumétrico de la arena seca, en kilogramos por metro cúbico.

W_{sd} es el peso de la arena seca empleada para llenar el recipiente de calibración, en gramos.

V_r es el volumen del recipiente de calibración, en centímetros cúbicos.

W_{fs} es el peso del dispositivo con el frasco lleno de arena, en gramos.

W_{fsr} es el peso del dispositivo con la arena remanente, en gramos.

W_{sc} es el peso del cono de arena, en gramos.

d) El procedimiento para determinar el peso específico o volumétrico de un suelo, en el lugar, por este método, es el siguiente:

d1) Una vez seleccionado el sitio en que se efectuará la prueba se prepara la superficie de tal manera que se tenga una porción plana de aproximadamente cincuenta (50) por cincuenta (50) centímetros, libre de partículas sueltas.

d2) Se coloca la base sobre la superficie preparada, se marca en ésta el borde interior de dicha base para delimitar el sondeo y a continuación se efectúa éste a la profundidad requerida; se coloca en un recipiente el material extraído de dicho sondeo, se le determina su peso, y se toma la muestra para la prueba de humedad, todo lo cual se lleva a cabo siguiendo en general los lineamientos indicados en los

subpárrafos c2) a c5), párrafo c) del inciso (002-J.04).

- d3) Se llena con arena el frasco del dispositivo, se montan los conos en la boca del frasco y se cierra la válvula.
- d4) Se pesa el dispositivo conteniendo la arena y se anota su peso como W_{fs} , en gramos.
- d5) Se invierte e instala el dispositivo sobre la base metálica previamente colocada en el sondeo, Figuras Núms. 49 y 50, se abre la válvula y una vez que el flujo de arena se haya suspendido, por haberse llenado el sondeo y el cono de mayor tamaño, se cierra completamente la válvula.
- d6) Se pesa el dispositivo con la arena remanente en el frasco y se registra dicho peso como W_{fsr} , en gramos.
- e) En esta prueba deberá calcularse y reportarse lo siguiente:
 - e1) Se calcula el volumen del sondeo de prueba empleando la siguiente fórmula:

$$V_m = \frac{(W_{fs} - W_{fsr}) - W_{sc}}{\gamma_{sd}} \times 1000$$

En donde:

V_m es el volumen del sondeo, en centímetros cúbicos.

W_{fs} es el peso del dispositivo con el frasco lleno de arena, en gramos.

W_{fsr} es el peso del dispositivo con la arena remanente, en gramos.

W_{sc} es el peso del cono de arena, en gramos.

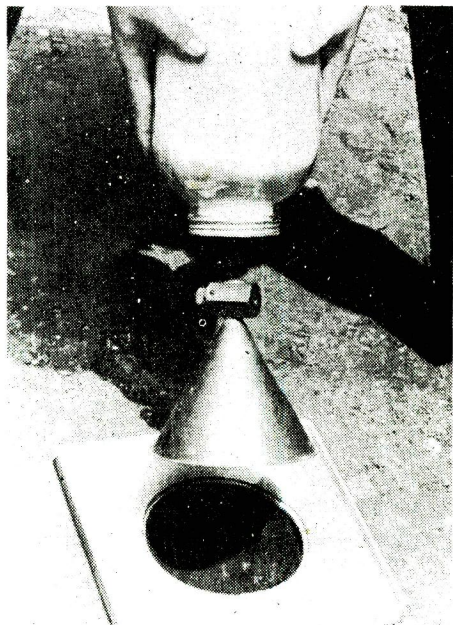


Figura Núm. 49. Instalación del aparato en la placa de base.

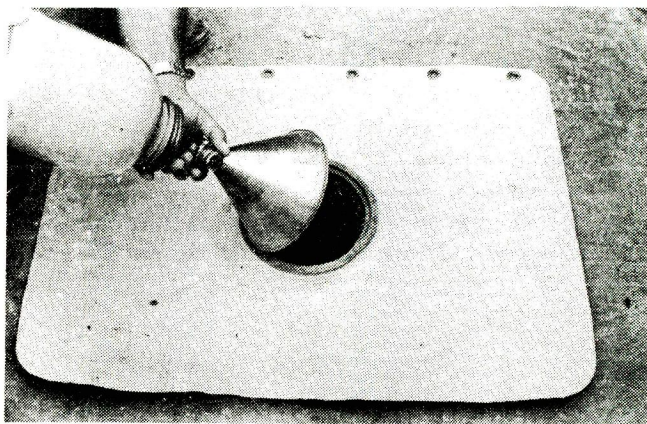


Figura Núm. 50. Instalación del aparato en la lona con arillo.

γ_{sd} es el peso específico o volumétrico de la arena seca, en kilogramos por metro cúbico.

e2) Se calcula y reporta el peso específico o volumétrico del material húmedo en el lugar γ_m , y el peso específico o volumétrico del material seco γ_d , empleando las fórmulas que se indican en los subpárrafos d2) y d3), párrafo d), del inciso (002-J.04), en donde el volumen del sondeo de prueba V_m , se calculará como se indica en el subpárrafo e1) de este párrafo.

f) Las causas más frecuentes de error en esta prueba son las mismas que se indican en el párrafo e) del inciso (002-J.04), y además que la base de apoyo del aparato esté mal asentada en el sitio de prueba, propiciando la fuga de arena.

002-J.06 En este Inciso se describe el método del agua para la determinación de los pesos específicos o volumétricos de los suelos con fragmentos de roca, ya sea en estado natural o bien en estado compactado, cuando están formando capas o estratos de más de cero punto cuatro (0.4) metros de espesor. La prueba consiste en efectuar en dichos suelos, a partir de una superficie horizontal, un sondeo de forma regular, pesar el material extraído y relacionar su peso con el volumen de la excavación; este volumen se determina cubriendo la superficie del sondeo con una tela delgada de plástico y midiendo el volumen de agua que se necesita para llenarlo. Este método se utiliza en la determinación de los coeficientes de variación volumétrica.

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

Tres (3) recipientes aforados, de cinco (5), diez (10) y veinte (20) decímetros cúbicos,

respectivamente.

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

Báscula de ciento veinte (120) kilogramos y aproximación de diez (10) gramos.

Nivel de burbuja de cincuenta (50) centímetros de longitud.

Pala de punta cuadrada.

Pala de punta redonda.

Picos.

Barreta de acero con un extremo terminado en punta y el otro terminado en bisel.

Tela delgada de plástico resistente o de látex sin rotura ni perforaciones, sensiblemente cuadrada, de tres punto cincuenta (3.50) metros por lado, aproximadamente.

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

b) La prueba se efectúa en la forma siguiente:

- b1) Se limpia y se despalma el sitio de prueba, dejando una superficie de forma sensiblemente cuadrada y de un (1) metro por lado, como mínimo, prácticamente plana y horizontal lo que se comprobará con el nivel de burbuja.
- b2) Se efectúa en el sitio de prueba, sin abarcar toda la superficie preparada, un sondeo de forma sensiblemente cúbica o cilíndrica, cuyo volumen aproximado sea de cien (100) decímetros cúbicos o más, evitando alterar el acomodo del material en

las paredes y fondo del sondeo. Se coloca sobre la lona el material que se vaya obteniendo de la excavación, sin que se produzcan pérdidas del mismo y se cubre con una lona húmeda para evitar en lo posible que pierda humedad.

- b3) Inmediatamente después se pesa el material extraído del sondeo y se registra su peso total W_m , en kilogramos.
- b4) Se mezcla el material hasta homogeneizarlo convenientemente, se toma una muestra representativa cuyo peso esté de acuerdo con el tamaño máximo del material, según se indica en la tabla del párrafo c) del inciso (002-J.04) de este Capítulo, pero no menor de tres (3) kilogramos si el material contiene fragmentos de roca; se determina su contenido de agua siguiendo el procedimiento indicado en la cláusula (002-E) y se anota dicho contenido como w , en por ciento.
- b5) Cuando la excavación del sondeo se dificulta, haciendo lenta la extracción del material, se efectúa el sondeo en dos (2) o más partes y al finalizar cada una (1) de ellas, se pesa el material correspondiente, se registra el peso parcial W_{mp} , en kilogramos y se determina su contenido de agua, de acuerdo con lo que se indica en el subpárrafo b4) de este párrafo, anotándolo como w_{mp} , en por ciento; lo indicado también se efectuará cuando se observen variaciones importantes en las características del material o en su compactación, para lo cual el sondeo se divide de acuerdo con dichos cambios.

- b6) Una vez terminado el sondeo, se coloca la tela de plástico cubriendo las paredes y piso de dicho sondeo, sujetando las orillas de la misma en la parte exterior para evitar fugas de agua, Figura Núm. 51.
- b7) Se vierte agua sobre la tela de plástico hasta llenar el sondeo, utilizando primero los recipientes aforados y después la probeta, y se anota el volumen de agua utilizada para llenarlo como volumen del sondeo V_m , en decímetros cúbicos con aproximación de diez (10) centímetros cúbicos.
- c) Los cálculos y reportes de esta prueba son los siguientes:
- c1) Cuando el sondeo se haga en partes, se calcula el peso de todo el material húmedo extraído, sumando los pesos parciales W_{mp} , y registrando dicho peso como W_m , en kilogramos; también se calcula la humedad media w , del material extraído, aplicando la siguiente fórmula:

$$w = \frac{W_{mp1} \times w_{mp1} + W_{mp2} \times w_{mp2} + \dots W_{mpn} \times w_{mpn}}{W_m}$$

En donde:

w es la humedad media del material extraído del sondeo, en por ciento.

$W_{mp1} \times w_{mp1} + W_{mp2} \times w_{mp2} + \dots W_{mpn} \times w_{mpn}$ es la suma de los productos del peso del material húmedo extraído de cada parte del sondeo, W_{mp} , en kilogramos, por su contenido de agua correspondiente, w_{mp} , expresado en por ciento.

W_m es el peso de todo el material húmedo

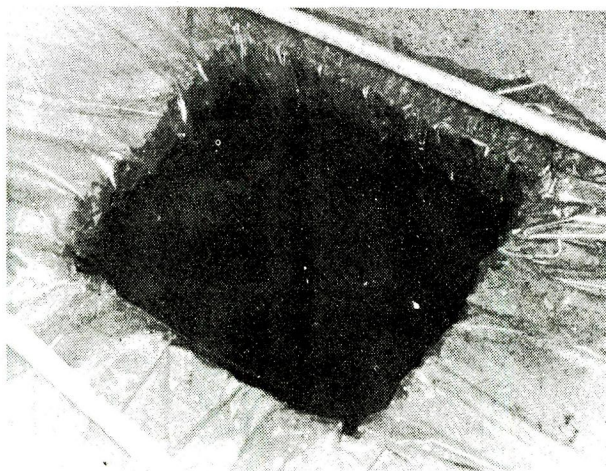


Figura N^o 51. Tela de plástico colocada para medir el volumen del sondeo.

do extraído del sondeo, en kilogramos.

- c2) Se calcula el peso del material seco, extraído del sondeo, empleando la siguiente fórmula:

$$W_d = \frac{W_m}{100 + w} \times 100$$

En donde:

W_d es el peso del material seco extraído del sondeo, en kilogramos.

W_m es el peso total del material húmedo extraído del sondeo, en kilogramos.

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

- c3) Se calcula y reporta el peso específico o volumétrico del material húmedo en el lugar, empleando la siguiente fórmula:

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m} \times 1000$$

En donde:

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

W_m es el peso del material húmedo extraído del sondeo, en kilogramos.

V_m es el volumen del sondeo, en decímetros cúbicos.

- c4) Se calcula y se reporta el peso específico o volumétrico seco del material en el lugar, empleando la siguiente fórmula:

$$\gamma_d = \frac{W_d}{V_m} \times 1000$$

En donde:

γ_d es el peso específico o volumétrico del material seco en el lugar, en kilogramos por metro cúbico.

W_d es el peso del material seco extraído del sondeo, en kilogramos.

V_m es el volumen del sondeo, en decímetros cúbicos.

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

- d1) Que las paredes y el fondo del sondeo presenten huecos o irregularidades que dificulten el acomodo de la tela plástica o bien que se haya dejado material suelto en el sondeo, que impidan la evaluación correcta de su volumen.

- d2) Que no se adapte correctamente la tela de plástico a las paredes del sondeo, propiciando la formación de bolsas de aire.
- d3) Que la tela de plástico propicie alguna fuga de agua.
- d4) Que no se hagan las determinaciones parciales que se requieren de acuerdo con las variaciones en las características del material.

002-J.07 En este inciso se describe el método de la parafina para la determinación del peso específico o volumétrico en muestras inalteradas, extraídas de suelos finos utilizados en terracerías, que puedan labrarse sin que se disgreguen y cuyas partículas tengan un tamaño máximo inferior a la malla Núm. 4.75.

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

Segueta.

Marro de un (1) kilogramo de peso, aproximadamente.

Cinceles.

Cuchillo.

Balanza de trescientos (300) gramos de capacidad, de triple escala, con aproximación de cero punto cero un (0.01) gramo.

Vaso de aluminio de quinientos (500) centímetros cúbicos.

Vaso de precipitado, de vidrio, con capacidad de cuatrocientos (400) centímetros cúbicos.

Parrilla eléctrica o fuente de calor de flama abierta.

Termómetro de cero a cien grados centígra

dos (0 a 100°C).

Parafina blanca o mezcla de parafina blanca y petrolato, en partes iguales.

Hilo delgado de nylon.

b) La prueba se efectúa en la forma siguiente:

- b1) Se pone la parafina o mezcla de parafina y petrolato en el vaso de aluminio y se le aplica calor únicamente hasta licuarla.
- b2) De una muestra inalterada obtenida de acuerdo con lo indicado en el inciso (002-B.02) de este Capítulo, se labra un espécimen de forma sensiblemente regular y que tenga un volumen de cien (100) centímetros cúbicos, aproximadamente.
- b3) Se nivela y se tara la balanza con el hilo, se sujeta el espécimen con éste, dejándole un extremo libre y a continuación se pesa el espécimen y se anota su peso como W_m , en gramos.
- b4) Se toma el espécimen por el extremo libre del hilo y se sumerge brevemente en el vaso con la parafina licuada, cuantas veces sea necesario para que la parafina forme una capa delgada que lo cubra totalmente.
- b5) Se pesa el espécimen cubierto con parafina y se anota este peso como W_{mp} , en gramos.
- b6) Se coloca sobre el soporte giratorio de la balanza el vaso de precipitado conteniendo agua limpia a una temperatura comprendida entre quince y veinticinco grados centígrados (15 - 25°C). Se suspende de la balanza el espécimen sumergiéndolo

en el agua y centrando el vaso en tal forma que el espécimen cuelgue libremente sin tocarlo, Figura Núm. 52; se determina el peso sumergido en el agua del espécimen cubierto con parafina y se anota este peso como W'_{mp} , en gramos.

- b7) Se saca el espécimen del agua, se descuelga de la balanza y se le elimina totalmente la parafina que lo cubre.
- b8) Se determina el contenido de agua w , del espécimen, de acuerdo con el procedimiento que se describe en la cláusula (002 E).
- b9) Se repite el procedimiento anterior para tener resultados de dos (2) especímenes como mínimo.
- c) Los cálculos y reportes que se efectuarán en esta prueba son los que se indican a continuación:
- c1) Se determina el volumen de la parafina que cubre cada uno de los especímenes, empleando la siguiente fórmula:

$$V_p = \frac{W_{mp} - W_m}{\gamma_p}$$

En donde:

V_p es el volumen de la parafina que cubre el espécimen, en centímetros cúbicos.

W_{mp} es el peso del espécimen cubierto con parafina, en gramos.

W_m es el peso del espécimen sin parafina, en gramos.

γ_p es el peso específico de la parafina

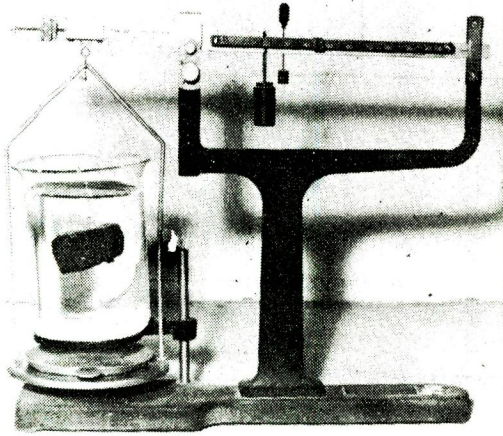


Figura Núm. 52. Determinación del peso sumergido de una muestra inalterada.

o de la mezcla de parafina y petro^lato, en gramos por centímetro cúbico. Para fines prácticos, el peso específico de la parafina o de la mezcla de parafina y petro^lato, puede tomarse de cero punto noventa y siete (0.97) gramos por centímetro cúbico.

- c2) Se calcula el volumen de cada uno de los especímenes sin parafina, aplicando la siguiente fórmula:

$$V_m = V_{mp} - V_p = \frac{W_{mp} - W'_{mp}}{\gamma_0} - V_p$$

En donde:

V_m es el volumen del espécimen, en centímetros cúbicos.

V_{mp} es el volumen del espécimen con parafina, en centímetros cúbicos.

V_p es el volumen de la parafina que cubre el espécimen, en centímetros cúbicos.

W_{mp} es el peso del espécimen cubierto con parafina, en gramos.

W'_{mp} es el peso sumergido del espécimen cubierto con parafina, en gramos.

γ_0 es el peso específico del agua, considerado de un (1) gramo por centímetro cúbico.

- c3) Se calcula para cada espécimen húmedo su peso específico o volumétrico γ_m , mediante la siguiente fórmula:

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m} \times 1000$$

En donde:

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

W_m es el peso del espécimen sin parafina, en gramos.

V_m es el volumen del espécimen, en centímetros cúbicos.

- c4) Se calcula para cada espécimen su peso específico o volumétrico en estado seco γ_d , empleando la siguiente fórmula:

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

En donde:

γ_d es el peso específico o volumétrico

del espécimen en estado seco, en kilogramos por metro cúbico.

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

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

- c5) Se calcula el promedio de los pesos específicos o volumétricos en estado húmedo, de los pesos específicos o volumétricos en estado seco y de los contenidos de agua, reportando estos valores como los correspondientes a la muestra.
- d) Las causas más frecuentes de error en esta prueba son las siguientes:
- d1) Que se originen pérdidas de humedad en el espécimen por no protegerlo adecuadamente cuando no esté cubierto con parafina.
 - d2) Que para cubrir el espécimen se utilice parafina demasiado caliente, originando pérdida de humedad en el mismo o formación de burbujas en la parafina.
 - d3) Que al determinar el peso sumergido del espécimen cubierto con parafina, éste no se introduzca completamente en el agua o quede en contacto con el vaso.
 - d4) Que no se elimine completamente al espécimen la capa de parafina para la determinación del contenido de agua.

002-J.08 En este Inciso se describe el método de los especímenes labrados para la determinación del peso específico o volumétrico en muestras inalteradas de materiales cohesivos suaves, cuya estructura de partículas finas permite su labrado en forma regular. Los especímenes utilizados en esta prueba en general se pueden apro

vechar posteriormente en otros ensayos.

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

Balanza de trescientos (300) gramos de capacidad, de triple escala, con aproximación de cero punto cero un (0.01) gramo.

Calibrador con vernier, de cero punto cero un (0.01) centímetro de aproximación.

Torno para labrar probetas, Figura Núm. 53.

Arco de joyero, con alambre.

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

b1) De una muestra inalterada obtenida de acuerdo con lo indicado en el inciso (002-B.02) de este Capítulo, se corta un prisma rectangular de bases sensiblemente paralelas y del tamaño adecuado para obtener un espécimen cilíndrico de tres punto seis (3.6) centímetros de diámetro y nueve (9) centímetros de altura, aproximadamente.

b2) Se coloca y se centra el prisma en el torno y deslizando el arco apoyado sobre dos (2) de los soportes verticales del torno, se efectúan los cortes necesarios haciendo girar el prisma alternativamente hasta formar el espécimen cilíndrico, como se muestra en la Figura Núm. 53.

b3) A continuación se saca el espécimen del torno y se miden con el calibrador su altura y sus diámetros superior, central e inferior, anotando respectivamente estos valores como h , d_s , d_c y d_i , con aproximación de cero punto cero un (0.01) centímetro.

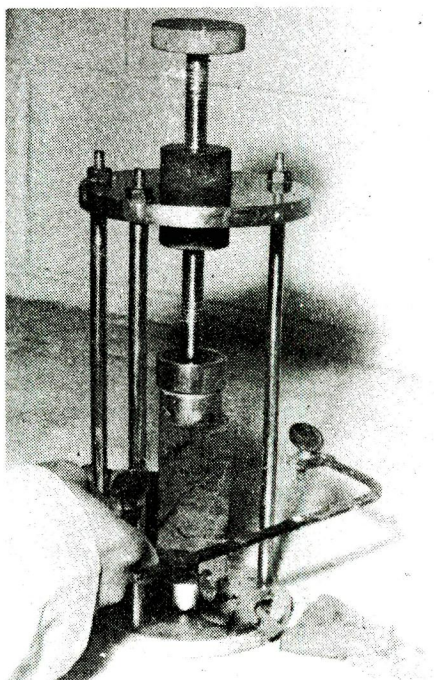


Figura Núm. 53. Labrado del espécimen cilíndrico en el torno.

- b4) Se pesa el espécimen con aproximación de cero punto cero un (0.01) gramo, y se anota este valor como W_m .
- b5) Se determina el contenido de agua w , del espécimen, de acuerdo con lo indicado en la cláusula (002-E).
- c) Los cálculos y reportes que se efectúan en esta prueba son los siguientes:
 - c1) Se calcula el área de la sección del espécimen correspondiente a cada uno de sus diámetros, superior, central e inferior, por medio de la siguiente fórmula:

$$A = 0.7854 d^2$$

En donde:

A es el área de la sección considerada en centímetros cuadrados.

d es el diámetro de la sección considerada, en centímetros.

c2) Se calcula el área promedio de la sección del espécimen, aplicando la siguiente fórmula:

$$A_p = \frac{A_s + 4A_c + A_i}{6}$$

En donde:

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

A_s es el área de la sección superior del espécimen, en centímetros cuadrados.

A_c es el área de la sección central del espécimen, en centímetros cuadrados.

A_i es el área de la sección inferior del espécimen, en centímetros cuadrados.

c3) Se calcula el volumen del espécimen, por medio de la siguiente fórmula:

$$V_e = A_p \times h$$

En donde:

V_e es el volumen del espécimen, en centímetros cúbicos.

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

h es la altura del espécimen, en centímetros.

- c4) Se calcula el peso específico en estado húmedo, γ_m , mediante la siguiente fórmula:

$$\gamma_m = \frac{w_m}{V_e} \times 1000$$

En donde:

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

w_m es el peso del espécimen húmedo, en gramos.

V_e es el volumen del espécimen, en centímetros cúbicos.

- c5) Se calcula el peso específico en estado seco γ_d , aplicando la siguiente fórmula:

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

En donde:

γ_d es el peso específico del espécimen en estado seco, en kilogramos por metro cúbico.

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

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

- c6) Se reportan como pesos específicos del material en los estados húmedo y seco, los valores γ_m y γ_d , respectivamente, en kilogramos por metro cúbico y el contenido de agua, w , en por ciento.

- d) Al efectuar esta prueba se tomarán las siguientes precauciones:
- d1) El prisma rectangular utilizado deberá estar sobrado en sus dimensiones laterales para que se pueda labrar el espécimen cilíndrico, a fin de evitar que alguna de sus secciones tenga un diámetro menor que el especificado..
 - d2) Al colocar el prisma de suelo en la base del torno no deberá dársele presión excesiva con el tornillo de sujeción, para evitar que se deforme o dañe el espécimen.
 - d3) Una vez labrado el espécimen deberá determinarse su peso inmediatamente, para evitar errores por pérdida de humedad.
 - d4) Los especímenes que presenten oquedades o salientes en su superficie, deberán desecharse o determinar su peso específico por otro procedimiento.

002-K PRUEBAS DE COMPACTACION

002-K.01 Se entiende por compactación la aplicación mecánica de cierta energía o cantidad de trabajo por unidad de volumen, para lograr una reducción de los espacios entre las partículas sólidas de un suelo, con el objeto de mejorar sus características mecánicas. Al obtenerse un mejor acomodo de las partículas sólidas y la expulsión del aire que contiene el suelo, se produce un aumento de su peso específico o volumétrico.

- a) Si a un suelo cuya humedad es baja se le van dando ciertos incrementos a su contenido de agua y se le aplica cada vez la misma energía de compactación, su peso volumétrico va aumentando, propiciado por la acción lubricante del agua, hasta que llega un mo

mento en que el peso volumétrico del material seco, calculado a partir del peso volumétrico del material húmedo y de la humedad, alcanza un valor máximo. Al contenido de agua con el que se obtiene el mejor acomodo de las partículas y el mayor peso específico o volumétrico del material seco, para una determinada energía de compactación, se le denomina humedad óptima y al peso volumétrico correspondiente se le designa como peso específico seco máximo o peso volumétrico seco máximo.

- b) Cuando a partir de esta condición de humedad óptima y peso específico seco máximo, se incrementa el agua para un mismo volumen, el agua con el aire remanente ocuparían el lugar de algunas partículas de suelo, obteniéndose en consecuencia pesos específicos secos que van siendo menores a medida que el agua aumenta. Si en un sistema de ejes coordenados se sitúan los puntos correspondientes a cada peso específico seco con su respectiva humedad y se unen con una curva, quedará representada la variación del peso específico o volumétrico de un material para diferentes contenidos de agua y una misma energía de compactación; esta curva adopta aproximadamente la forma de una parábola, siendo más abierta en el caso de suelos arenosos que en el de suelos arcillosos.
- c) El contenido de agua óptimo y el peso específico seco máximo de un suelo, también varían con la energía de compactación; cuando ésta se aumenta, se obtienen mayores pesos específicos secos máximos con humedades óptimas menores. A su vez, la humedad óptima y el peso específico seco máximo son fun

ción del tipo de suelo; los suelos gruesos, para una misma energía de compactación, tienen en general mayores pesos específicos secos máximos y menores humedades óptimas que los suelos finos.

- d) Otro parámetro de importancia en la compactación es la llamada "curva teórica de saturación"; esta curva representa para cada peso específico la humedad necesaria para que todos los vacíos que dejan entre sí las partículas sólidas estén llenos de agua, Figura Núm. 54. El peso específico del suelo seco γ_c , correspondiente a la curva teórica de saturación, para una humedad dada, se calcula con la siguiente fórmula, Figura Núm. 54 a):

$$\gamma_c = \frac{S_s \gamma_o}{1 + w S_s}$$

En donde:

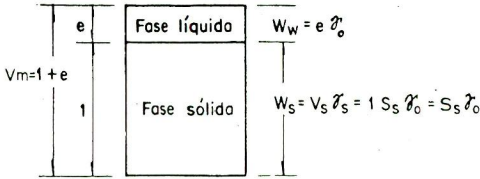
γ_c es el valor del peso específico del material seco, para construir la curva teórica de saturación, en kilogramos por metro cúbico.

S_s es el peso específico relativo de la fase sólida del suelo de que se trate, determinado según corresponda a su tamaño, como se indica en los incisos (002-G.02) y (002-G.03), de este Capítulo.

γ_o es el peso específico del agua, considerado de mil (1000) kilogramos por metro cúbico.

w es el contenido de agua elegido en cada caso para calcular el peso específico γ_c , expresado en forma decimal.

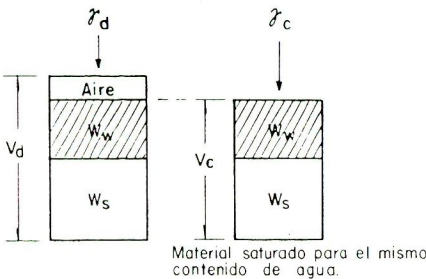
Material saturado



$$\gamma_c = \gamma_d = \frac{W_s}{V_m} = \frac{S_s \gamma_0}{1+e}, \quad w = \frac{W_w}{W_s} = \frac{e \gamma_0}{S_s \gamma_0} = \frac{e}{S_s}, \quad e = w S_s$$

$$\gamma_c = \frac{S_s \gamma_0}{1 + w S_s}$$

- a) Deducción de la fórmula correspondiente a la curva teorica de saturación de un suelo



$$v_0 = \frac{V_d - V_c}{V_d} \times 100 = 100 \left(1 - \frac{V_c}{V_d} \right) = 100 \left(1 - \frac{\frac{W_s}{\gamma_c}}{\frac{W_s}{\gamma_d}} \right) = 100 \left(1 - \frac{W_s \gamma_d}{W_s \gamma_c} \right)$$

$$v_0 = 100 \left(1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_c} \right)$$

- b) Deducción de la fórmula para calcular el volumen de huecos llenos de aire en un suelo, en por ciento.

FIGURA NUM. 54.

- e) Dado que en la práctica es imposible llenar totalmente con agua los huecos que dejan las partículas de suelo compactado, la curva peso específico del material seco-humedad no debe cruzar a la curva teórica de saturación respectiva. El por ciento de huecos que quedaron llenos de aire para una determinada condición de peso específico seco y humedad de un suelo, se calcula mediante la siguiente fórmula, Figurá Núm. 54 b):

$$V_a = 100 \left(1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_c} \right)$$

En donde:

V_a es el volumen de huecos que quedan llenos de aire entre las partículas de suelo, en por ciento.

γ_d es el peso específico del suelo seco compactado, correspondiente a la humedad w , en kilogramos por metro cúbico.

γ_c es el peso específico del suelo seco obtenido de la curva teórica de saturación, correspondiente a la misma humedad w , en kilogramos por metro cúbico.

Para un suelo relativamente bien graduado, de fácil acomodo, no estimado en general como ligero, el por ciento de huecos que quedan llenos de aire cuando alcanza el cien por ciento (100%) de compactación con la humedad óptima, es del orden de seis punto cinco por ciento (6.5%). Si al compactar este material en la obra con su humedad óptima, el por ciento de vacíos llenos de aire es mayor que el valor antes indicado, puede ser un indicio de que el material no ha al

canzado el cien por ciento (100%) de compactación o bien, que sin variar su peso específico puede adquirir mayor humedad.

f) De acuerdo con la naturaleza de los materiales y con el uso que se les pretenda dar, se han establecido procedimientos de prueba para llevar a cabo la compactación de los suelos en el laboratorio, con objeto de referir y evaluar la compactación que se alcanza con los procedimientos aplicados en el campo, para determinar el grado de compactación del material. Tomando en cuenta la forma de aplicar la energía al material, las pruebas de compactación que generalmente se emplean son de los siguientes tipos:

f1) Por impactos, como son las pruebas de: Compactación dinámica AASHTO estándar, Proctor SCT, AASHTO modificada tres (3) y cinco (5) capas y los Métodos de California y de Texas.

f2) Por carga estática, como es la prueba de compactación Porter.

f3) Por amasado, como es el caso del método de compactación de Hveem.

f4) Por vibración, como es el método de compactación en que se utiliza una mesa vibratoria.

g) En esta Cláusula se describen las siguientes pruebas de compactación: AASHTO estándar, Proctor SCT, AASHTO modificada tres (3) y cinco (5) capas y Porter. La prueba de Compactación de Hveem se describe en el inciso (002-N.08), por formar parte del método para determinar el valor de R de estabilidad de los suelos.

002-K.02 En este inciso se describe la prueba de compactación dinámica AASHTO estándar, que sirve para determinar el peso específico seco máximo y la humedad óptima en suelos que se emplean en la construcción de terracerías. El método consiste esencialmente en preparar especímenes utilizando una misma muestra de material con diferentes contenidos de agua, compactándolos mediante impactos. La prueba tiene cuatro variantes:

La variante A, que se aplica a materiales que pasan por la malla Núm. 4.75 y se compactan en molde de ciento uno punto seis (101.6) milímetros de diámetro interior.

La variante B, que se aplica a materiales que pasan la malla Núm. 4.75 y se compactan en molde de ciento cincuenta y dos punto cuatro (152.4) milímetros de diámetro interior.

La variante C, que se aplica a materiales con retenido en la malla Núm. 4.75; se efectúa utilizando la fracción que pasa la malla Núm. 19.0 y se compacta en molde de ciento uno punto seis (101.6) milímetros de diámetro interior.

La variante D, que se aplica a materiales con retenido en la malla Núm. 4.75; se efectúa en la fracción que pasa la malla Núm. 19.0 y se compacta en molde de ciento cincuenta y dos punto cuatro (152.4) milímetros de diámetro interior.

Los materiales que pasan la malla Núm. 4.75 o los que presenten retenido en dicha malla, de acuerdo con las variantes antes indicadas, pueden compactarse en moldes de ciento uno punto seis (101.6) milímetros o en moldes de ciento cincuenta y dos punto cua

tro (152.4) milímetros de diámetro interior. Para seleccionar cual de dichos moldes es el más apropiado y por tanto la variante correspondiente, se tomará en cuenta la conveniencia de utilizar especímenes - de prueba más pequeños o la necesidad de emplear muestras de mayor tamaño, según los problemas de cada obra en particular. Por ejemplo, en los materiales que frecuentemente contengan partículas retenidas en la malla Núm. 4.75, o que se degraden fácilmente, o bien que por diferentes razones presenten problemas de reproducibilidad, es conveniente -- compactarlos en el molde de mayor diámetro.

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

Equipo de compactación compuesto de un cilindro metálico de peso W_t , conocido, de ciento uno punto seis (101.6) milímetros de diámetro interior y ciento dieciséis punto cuatro (116.4) milímetros de altura, una placa de base metálica, de nueve punto cinco (9.5) milímetros de espesor, la cual se asegurará convenientemente al cilindro; una extensión o collarín removible de sesenta punto tres (60.3) milímetros de altura exterior, con diámetro interior igual al del cilindro. Cilindro metálico de peso W_t , conocido, con diámetro interior de ciento cincuenta y dos punto cuatro (152.4) milímetros y altura de ciento dieciséis punto cuatro (116.4) milímetros, provisto de una placa de base metálica, de doce punto siete (12.7) milímetros de espesor; un collarín del mismo diámetro interior del cilindro y altura exterior de sesenta punto tres (60.3)

milímetros. Pisón metálico con peso de dos punto cinco (2.5) kilogramos, con superficie circular de apisonado de cincuenta punto ocho (50.8) milímetros de diámetro, acoplado a una guía metálica tubular, para que tenga una caída libre de treinta punto cinco (30.5) centímetros. Regla metálica de arista cortante de veinticinco (25) centímetros de largo, aproximadamente. Todo lo anterior de acuerdo con lo que se indica en la Figura Núm. 55.

Balanza con capacidad mínima de quince (15) kilogramos y aproximación de cinco (5) gramos.

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

Horno para secado de muestras, provisto de control termostático para mantener una temperatura de ciento cinco más menos cinco grados centígrados ($105 \pm 5^{\circ}\text{C}$).

Base cúbica de concreto o de otro material de rigidez similar, con dimensiones mínimas de cuarenta (40) centímetros por lado.

Probeta con capacidad de quinientos (500) centímetros cúbicos y graduaciones de diez (10) centímetros cúbicos.

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

Mallas de las siguientes denominaciones: Núms. 19.0 y 4.75.

Cápsulas metálicas con tapa.

Charolas rectangulares.

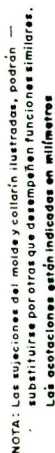


FIGURA NUM. 55. MOLDES CILINDRICOS Y PISON PARA LA PRUEBA DE COMPACTACION AASHTO ESTANDAR

MATERIAL: Acero estructural,
SOLDADURA: Electrodo de 3.2 mm

Aceite para lubricar las paredes de los moldes.

b) La preparación de la muestra deberá efectuarse como se indica a continuación:

b1) De una muestra obtenida y preparada como se indica en las cláusulas (002-B) y (002 D), de este Capítulo, respectivamente, se obtiene por cuarteo una muestra de prueba de cuatro (4) kilogramos aproximadamente, para las variantes A y C y de siete punto cinco (7.5) kilogramos aproximadamente, para las variantes B y D.

b2) Para las variantes A y B, se verifica que la muestra de prueba pase la malla Núm. 4.75 y de existir alguna partícula retenida en dicha malla se elimina. Para el caso de variantes C y D, se criba la muestra por la malla Núm. 19.0 y si existe retenido se elimina; a continuación se disgregan los grumos y se mezcla perfectamente el material que constituye la muestra de prueba.

c) La prueba se efectúa en la forma siguiente:

c1) Se le agrega a la muestra de prueba, la cantidad de agua necesaria para que al ser repartida uniformemente, se tenga una humedad inferior en cuatro a seis por ciento (4 a 6%) a la óptima estimada, en el caso de suelos que pasan la malla Núm. 4.75, se considera que cumple lo anterior cuando presenten una consistencia tal que, al comprimir una porción de la muestra en la palma de la mano, no deje partículas adheridas en ésta, ni la humedezca y que a la vez, el material comprimido pueda tomarse con dos (2) dedos sin que se

desmorone.

- c2) Se criba la muestra de prueba por la malla Núm. 4.75, en el caso de las variantes A y B, y por la Núm. 19.0, para las variantes C y D, disgregando los grumos que se hayan formado durante la incorporación del agua. Se mezcla cuidadosamente la muestra para homogeneizarla, se disgregan los grumos y se divide en tres (3) fracciones aproximadamente iguales, se coloca una de las fracciones en el cilindro de prueba seleccionado de acuerdo con la variante respectiva, se apoya sobre el bloque de concreto y se compacta con veinticinco (25) golpes del pisón, para el caso de las variantes A y C, o con cincuenta y seis (56) golpes para las variantes B y D, manteniendo la altura de caída de treinta punto cinco (30.5) centímetros y repartiendo uniformemente los golpes en la superficie de la capa, Figura Núm. 56. Se escarifica ligeramente la superficie de la capa y se repiten estas operaciones con cada una de las dos (2) fracciones restantes de la muestra.
- c3) Terminada la compactación, se retira la extensión del molde y se verifica que el material no sobresalga del cilindro en un espesor promedio de uno punto cinco (1.5) centímetros, pues de lo contrario la prueba deberá repetirse utilizando de preferencia una nueva muestra con peso ligeramente menor que el inicial; se enrasa cuidadosamente el espécimen con la regla me-tálica y se deposita en una charola el material excedente. A continuación se pesa el cilindro con su contenido y se anota



Figura Núm. 56. Elaboración del espécimen de prueba.

en la hoja de registro su valor W_i , en gramos, Figura Núm. 57.

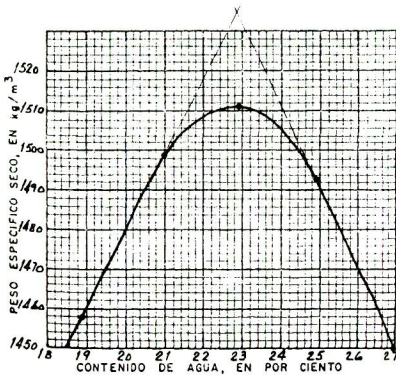
- c4) Se saca el espécimen del cilindro, se corta longitudinalmente y de su parte central se obtiene una porción representativa a la que se le determina su humedad de acuerdo con lo indicado en el inciso (002 E.02), anotando los datos correspondientes a esta determinación en la hoja de registro.
- c5) Se incorporan las fracciones del espéci

PRUEBA DE COMPACTACION DINAMICA.

NA: <u>Carretera Tuzantla-El Limón</u>	FECHA: <u>3 de abril de 1985</u>
CALIZACION: <u>km 13+200</u>	ENSAYE: <u>75-228</u>
NDOE NUM.: <u>5</u>	OPERADOR: <u>J. Servide</u>
ESTRA NUM.: <u>1</u>	CALCULO: <u>M. G. Peña</u>
SCRIPCION: <u>Arena arcillosa con 30% aproximadamente de grava (SC)</u>	
METODO: <u>AASHTO Estándar</u>	MOLDE: <u>R</u> PESO EN g <u>2750</u>
VARIANTE: <u>D</u>	NUM. DE GOLPES POR CAPA: <u>50</u>

PRUEBA NUMERO	1	2	3	4	5
CAPSULA NUMERO	2	6	3	9	1
PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO (g)	113.8	204.2	198.1	172.4	187.9
PESO CAPSULA + SUELO SECO (g)	169.0	177.0	171.0	143.8	152.8
PESO DEL AGUA (g)	24.8	27.2	27.1	28.6	31.1
PESO CAPSULA (g)	38.0	47.2	52.3	28.9	41.5
PESO SUELO SECO W_s (g)	131.0	129.8	118.7	116.9	115.3
CONTENIDO DE AGUA w (%)	18.9	21.0	22.9	24.9	27.0
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO W (g)	644.9	661.9	671.1	672.8	667.7
PESO DEL CILINDRO DE COMPACTACION W_c (g)	2750	2750	2750	2750	2750
PESO SUELO HUMEDO W_m (g)	369.9	386.9	396.1	397.8	392.7
VOLUMEN DEL CILINDRO DE COMPACTACION V (cm ³)	2133	2133	2133	2133	2133
PESO ESPECIFICO HUMEDO γ_m (kg/m ³)	1734	1814	1857	1865	1841
PESO ESPECIFICO SECO γ_d (kg/m ³)	1458	1499	1511	1493	1450

$$\text{PESO ESPECIFICO SECO} = \frac{\text{PESO ESPECIFICO HUMEDO}}{100 + \text{CONTENIDO DE AGUA}} \times 100$$



OBSERVACIONES: Peso específico seco máxima γ_{dmax} 1511 kg/m
Humedad óptima w_o = 22.9%

FIGURA NUM. 57.

men al material que sobró al enrasarlo, se disgregan los grumos, se agrega dos por ciento (2%) de agua, aproximadamente, con respecto al peso inicial de la muestra y se repiten los pasos descritos en los subpárrafos del c2) al c4) de este párrafo.

c6) Con la misma muestra de prueba se repite lo indicado en el subpárrafo c5) de este párrafo, incrementando sucesivamente su contenido de agua, hasta que la muestra esté muy húmeda y el último espécimen elaborado presente una disminución apreciable en su peso con respecto al anterior. Para definir convenientemente la variación del peso específico de los especímenes elaborados, se requiere que las determinaciones sean cuatro (4) o cinco (5); así también, que en la segunda determinación el peso del cilindro con el espécimen húmedo, sea mayor que en la primera, y que en la penúltima determinación sea mayor que en la última.

d) Los cálculos y reportes que deberán efectuarse en esta prueba son los siguientes:

d1) Se calcula el contenido de agua de cada espécimen de acuerdo con lo indicado en el inciso (002-E.02).

d2) Se calcula el peso específico del material húmedo por medio de la siguiente fórmula y se anota su valor en la hoja de registro.

$$\gamma_m = \frac{W_i - W_t}{V} \times 1000$$

En donde:

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

W_i es el peso del material húmedo compactado más el peso del cilindro, en gramos.

W_t es el peso del cilindro, en gramos.

V es el volumen del cilindro, en centímetros cúbicos.

- d3) Se calcula el peso específico de cada espécimen en estado seco, mediante la siguiente fórmula y se anota su valor en la hoja de registro.

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

En donde:

γ_d es el peso específico del espécimen en estado seco, en kilogramos por metro cúbico.

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

w es el contenido de agua, en por ciento.

- d4) Se determina el peso específico máximo del material en estado seco, partiendo de una curva como la que se ilustra en la Figura Núm. 57, en donde las ordenadas representan los pesos específicos y las abscisas los contenidos de agua, de cada uno de los especímenes. El punto más alto de dicha curva es el que representa el peso específico seco máximo, $\gamma_{d\text{máx.}}$, y la humedad correspondiente, w_0 , es la óptima del material.

- d5) Se reportan el peso específico seco máximo $\gamma_{dm\acute{a}x.}$, en kilogramos por metro cúbico y la humedad óptima w_0 , en por ciento.
- d6) En caso necesario se calculan los pesos específicos secos correspondientes a la curva teórica de saturación, para los contenidos de agua de cada espécimen, de acuerdo a lo indicado en el párrafo d) del inciso (002-K.01) y con estos pesos y los respectivos contenidos de agua, se traza la curva teórica de saturación para el material utilizado en la prueba, siguiendo el procedimiento descrito en el subpárrafo d4) de este párrafo. A continuación se compara la curva teórica de saturación con la curva de compactación y se verifica que no se corten en ningún punto. En la Figura Núm. 58, se muestran las curvas teóricas de saturación correspondientes a suelos cuyos pesos específicos relativos varían de dos punto cuatro (2.4) a dos punto ocho (2.8).
- e) Al efectuar esta prueba deberán tomarse en cuenta las siguientes precauciones:
- e1) La muestra utilizada para la prueba de compactación, se secará solamente lo necesario para poderla disgregar.
- e2) Durante la compactación, los golpes del pisón se repartirán uniformemente en toda la superficie del espécimen, manteniendo la guía en posición vertical, verificando que la caída del pisón sea libre y que la superficie del mismo se mantenga limpia.
- e3) La curva peso específico seco-humedad, se obtendrá de una sola muestra y no se secará ésta para determinar puntos de la cur

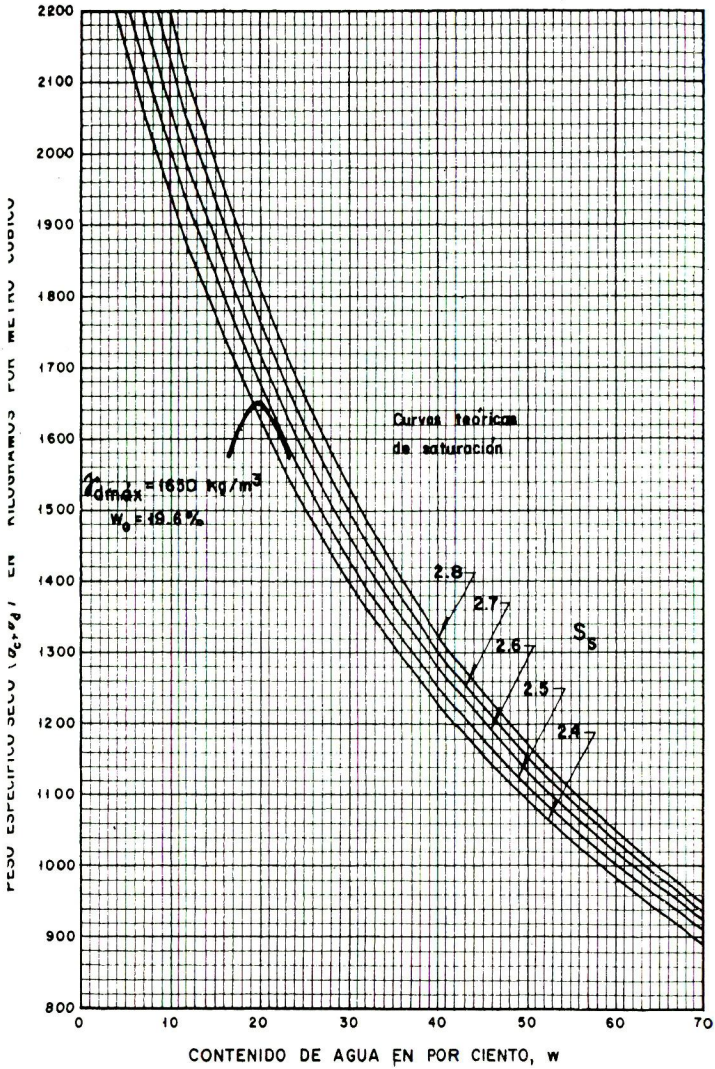


FIGURA NUM. 58. CURVAS HUMEDAD – PESO ESPECIFICO SI

va que correspondan a humedades menores de la que ya tiene el material.

- e4) La humedad del primer espécimen será inferior a la óptima y cada una de las ramas de la curva mencionada se definirá con dos (2) puntos.

002-K.03 En este inciso se describe la prueba de compactación dinámica Proctor SCT, que sirve para determinar el peso específico seco máximo y la humedad óptima en suelos que se emplean en la construcción de terracerías, cuando pasan la malla Núm. 4.75, con una tolerancia máxima de diez por ciento (10%) de retenido en dicha malla, pero que pasan totalmente por la Núm. 9.5. No se efectuará en arenas y en los materiales cuyo índice plástico sea igual o menor que seis (6). El método consiste esencialmente en preparar especímenes utilizando una misma muestra de material con diferentes contenidos de agua, compactándolos en tres (3) capas, mediante impactos con pisón de dos punto cinco (2.5) kilogramos de peso y altura de caída de treinta punto cinco (30.5) centímetros.

- a) El equipo y materiales necesarios para efectuar esta prueba son los que se requieren para la prueba AASHTO estándar variante A, descritos en el inciso (002-K.02), incluyendo además las mallas Núms. 9.5 y 2.0.
- b) La preparación de la muestra deberá efectuarse como se indica a continuación:
- b1) De una muestra obtenida y preparada como se indica en las cláusulas (002-B) y (002-D), respectivamente, se toma por cuarteo una porción de prueba, de tres (3) kilogramos aproximadamente.
- b2) Se criba la porción de prueba por la malla Núm. 4.75 y si el material tiene un retenido de diez por ciento (10%) como má

ximo en esta malla y pasa todo por la malla Núm. 9.5, se criba por la malla Núm. 2.0, disgregando manualmente los grumos que se retengan; se vuelven a cribar por la misma malla y se continúa este proceso hasta que las partículas que se retengan en dicha malla no puedan ser disgregadas. Terminada la disgregación se mezcla perfectamente toda la muestra de prueba.

- c) El procedimiento de prueba es el mismo indicado en la variante A, del método AASHTO estándar, que se describe en el inciso (002-K.02), excepto que en lugar de veinticinco (25) golpes se dan treinta (30) golpes por capa.
- d) Los cálculos y reportes que deberán efectuarse son los mismos que se citan en el párrafo d) del inciso (002-K.02) y se registrarán como se ilustra en la Figura Núm. 59.
- e) Al efectuar esta prueba se tomarán las mismas precauciones indicadas en el párrafo e) del inciso (002-K.02).

002-K.04 En este inciso se describe la prueba de compactación dinámica AASHTO modificada tres (3) capas que sirve para determinar el peso específico seco máximo y la humedad óptima en suelos que se emplean en la construcción de terracerías; consiste en preparar especímenes de prueba, utilizando la misma muestra de material, con diferentes contenidos de agua, la que se compacta en tres (3) capas en molde de dimensiones especificadas, mediante la aplicación de impactos con un pisón de cuatro punto cincuenta y cuatro (4.54) kilogramos de peso y altura de caída de cuarenta y cinco punto siete (45.7) centímetros.

Esta prueba tiene cuatro (4) variantes:

PRUEBA DE COMPACTACION DINAMICA

FIRMA <u>Carretera Monterrey Reynosa</u> LOCALIZACION <u>km 98 + 500</u> SONIDO NUM <u>13</u> MULTIPLA NUM <u>1 Prof. 0 B0 m</u> DESCRIPCION <u>Lomo arenoso, gris claro</u>	FECHA <u>7 de marzo de 1985.</u> INSAFI <u>2000</u> OPERADOR <u>Gomez Delgado</u> CALCULO <u>J. Martinez</u>
--	---

METODO Proctor S C T

MOLDE _____ G

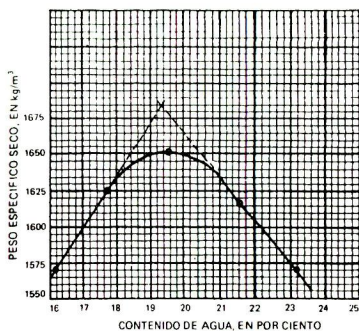
PE SQUEN 1982

VARIANTE

NUM DE GOLPES POR CAPA

		PRUEBA NÚMERO				1	2	3	4		
UNIFORMADO	CAPSULA NÚMERO		12	3	8	15					
	PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO (g)		60.5	95.1	92.2	107.7					
	PESO CAPSULA + SUELO SECO (g)		71.7	84.0	79.7	91.6					
	PESO DEL AGUA (g)		8.8	11.1	12.5	16.1					
	PESO CAPSULA (g)		17.6	21.4	21.8	21.8					
	PESO SUELO SECO W_s (g)		54.1	62.6	57.9	69.8					
PESO ESPECÍFICO	CONTENIDO DE AGUA w (%)		16.2	17.7	21.6	23.1					
	PESO MOLDE + SUELO HUMEDO W_m (g)		3715	3798	3848	3820					
	PESO DEL CILINDRO DE COMPACTACION W_c (g)		1982	1982	1982	1982					
	PESO SUELO HUMEDO W_m (g)		1733	1816	1866	1838					
	VOLUMEN DEL CILINDRO DE COMPACTACION V (cm ³)		950	950	950	950					
	PESO ESPECÍFICO HUMEDO γ_m (kg/m ³)		1824	1912	1964	1935					
	PESO ESPECÍFICO SECO γ_d (kg/m ³)		1570	1624	1615	1577					

$$\text{PESO ESPECIFICO SECO} = \frac{\text{PESO ESPECIFICO HUMEDO}}{100 + \text{CONTENIDO DE AGUA}} \times 100$$



OBSERVACIONES: Peso específico

seco máximo $\gamma_{d\max}$	1650 kg/m ³
------------------------------	------------------------

Humanized anti-mouse IgG 1963

FIGURA NUM 59.

La variante A, que se aplica a materiales que pasan la malla Núm. 4.75 y se compactan en molde de ciento uno punto seis (101.6) milímetros de diámetro interior.

La variante B, que se aplica a materiales que pasan la malla Núm. 4.75 y se compactan en molde de ciento cincuenta y dos punto cuatro (152.4) milímetros de diámetro interior.

La variante C, que se aplica a materiales con retenido en la malla Núm. 4.75, se efectúa utilizando la fracción que pasa la malla Núm. 19.0 y se compacta en molde de ciento uno punto seis (101.6) milímetros de diámetro interior.

La variante D, que se aplica a materiales con retenido en la malla Núm. 4.75, se efectúa en la fracción que pasa la malla Núm. 19.0 y se compacta en molde de ciento cincuenta y dos punto cuatro (152.4) milímetros de diámetro interior.

Los materiales que pasan la malla Núm. 4.75, o los que presentan retenido en dicha malla, de acuerdo con las variantes antes mencionadas, pueden compactarse en molde de ciento uno punto seis (101.6) milímetros o en molde de ciento cincuenta y dos punto cuatro (152.4) milímetros de diámetro interior. Para seleccionar cual de dichos moldes es el más apropiado y por tanto la variante correspondiente, se tomará en cuenta la conveniencia de utilizar especímenes de prueba más pequeños o la necesidad de emplear muestras de mayor tamaño, según los problemas de cada obra en particular; por ejemplo, en los materiales que con frecuencia contengan partículas retenidas en

se degraden fácilmente, o bien, que por diferentes razones presenten problemas de reproductibilidad, es conveniente utilizar el molde de mayor tamaño.

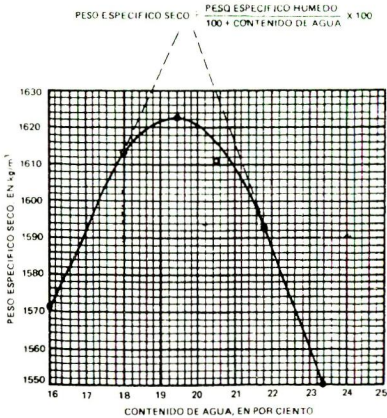
- a) El equipo y materiales necesarios para efectuar esta prueba son los que se requieren para la prueba AASHTO estándar descrita en el inciso (002-K.02) de este Capítulo, excepto que el pisón para la prueba AASHTO modificada tres (3) capas será de cuatro punto cincuenta y cuatro (4.54) kilogramos de peso, acoplado a una guía metálica tubular para que tenga una caída libre de cuarenta y cinco punto siete (45.7) centímetros, con las mismas tolerancias en peso y altura de caída indicadas para la prueba AASHTO estándar.
- b) La preparación de la muestra deberá efectuarse como se indica en el párrafo b) del inciso (002-K.02) de este Capítulo.
- c) El procedimiento de prueba será el indicado en el párrafo c) del inciso (002-K.02) de este Capítulo, excepto que el pisón para compactar los especímenes es el que se describe en el párrafo a) de este inciso.
- d) Los cálculos y reportes que deberán efectuarse son los mismos que se indican en el párrafo d) del inciso (002-K.02) de este Capítulo, y se registran como se ilustra en la Figura Núm. 60.
- e) Al efectuar esta prueba se tendrán las mismas precauciones que las mencionadas en el párrafo e) del inciso (002-K.02) de este Capítulo.

PRUEBA DE COMPACTACION DINAMICA

OBRA	Carretera Tuzantla El Limón	FECHA	1 de abril de 1995
LOCALIZACIÓN	km 13 + 200	ENSAYE	75-228
SONDIO NUM	5	OPERADOR	J. Sanvidé
MUESTRA NUM	1	CALCULO	M. Rodríguez E
DESCRIPCION	Arena arcillosa con 30% aproximadamente de grava (SC)		

METODO AASHTO MODIFICADA MOLDE M PESO EN g 1961
 VARIANTE A NUM DE GOLPES POR CAPA 25

		PRUEBA NUMERO					1	2	3	4	5	
HUMEDAD	UNIDAD	CAPSULA NUMERO		14	18	23	17	3				
		PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO (g)		156.2	176.7	215.8	201.6	165.2				
		PESO CAPSULA + SUELO SECO (g)		138.8	153.6	184.6	170.7	139.6				
		PESO DEL AGUA (g)		17.4	23.1	31.2	30.9	25.6				
		PESO CAPSULA (g)		30.8	25.3	32.5	29.6	30.2				
		PESO SUELO SECO W_s (g)		108.0	128.3	152.1	141.1	109.4				
PESO ESPECIFICO		CONTENIDO DE AGUA w (%)		16.1	18.0	20.5	21.9	23.3				
		PESO MOLDE + SUELO HUMEDO W_t (g)		3693	3770	3805	3805	3776				
		PESO DEL CILINDRO DE COMPACTACION W_c (g)		1961	1961	1961	1961	1961				
		PESO SUELO HUMEDO W_m (g)		1732	1809	1844	1844	1817				
		VOLUMEN DEL CILINDRO DE COMPACTACION V (cm ³)		950	950	950	950	950				
		PESO ESPECIFICO HUMEDO γ_m (kg/m ³)		1823	1904	1941	1941	1913				
	PESO ESPECIFICO SECO γ_d (kg/m ³)		1570	1614	1611	1592	1550					



OBSERVACIONES: Peso específico seco máximo γ_d max 1622 kg/m³
 Humedad óptima w_o 19.5 %

FIGURA NUM. 60

002-K.05 En este inciso se trata lo referente a la prueba de compactación dinámica AASHTO modificada cinco (5) capas, que es similar a la prueba de compactación dinámica AASHTO modificada tres (3) capas descrita en el inciso (002-K.04) de este Capítulo, excepto que para elaborar los especímenes de prueba se divide la muestra en cinco (5) porciones para integrar cada espécimen con cinco (5) capas, aplicándoles sucesivamente a cada una de ellas el mismo número de golpes que se especifica en el inciso mencionado, de acuerdo con el tamaño del mol de compactación.

- a) La preparación de la muestra, el equipo y materiales necesarios y el procedimiento de prueba son los mismos que se indican en el inciso (002-K.04) de este Capítulo, excepto que los especímenes se elaboran con cinco (5) capas en vez de tres (3).
- b) Los cálculos y reportes que se efectúan en esta prueba son los indicados en el inciso (002-K.04) antes mencionado.
- c) Al efectuar esta prueba se tendrán las mismas precauciones que las mencionadas en el párrafo e) del inciso (002-K.02)

002-K.06 En este inciso se describe la prueba Porter de compactación por carga estática que sirve para determinar el peso específico seco máximo y la humedad óptima en suelos con partículas gruesas, que se emplean en la construcción de terracerías, pudiendo efectuarse también en arenas y en materiales finos cuyo índice plástico sea menor de seis (6). El método consiste en preparar especímenes con material que pasa la malla Núm. 25.0, agregándoles diferentes cantidades de agua y compactándolos con carga estática. La principal aplicación de este procedimiento es la elaboración de especímenes de suelo para determinar el valor relativo de soporte y también se utiliza en la determinación del grado de com

pactación en los casos en que el proyecto así lo indique.

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

Molde cilíndrico de compactación de ciento cincuenta y siete punto cinco (157.5) milímetros de diámetro interior y de ciento veintisiete punto cinco (127.5) milímetros de altura, provisto de collarín y una base con dispositivo para sujetar el cilindro, Figura Núm. 61.

Máquina de compresión con capacidad mínima de treinta (30) toneladas y aproximación de cien (100) kilogramos.

Varilla metálica de diecinueve (19) milímetros de diámetro y trescientos (300) milímetros de longitud, con punta de bala.

Placa circular para compactar, con diámetro de ciento cincuenta y cuatro punto cinco (154.5) milímetros, con dispositivo para sujetarla en la cabeza de aplicación de la carga.

Malla Núm. 25.0.

Malla Núm. 4.75.

Balanza con capacidad mínima de veinte (20) kilogramos y aproximación de cinco (5) gramos.

Calibrador con vernier tipo Máuser.

- b) La preparación de la muestra se efectúa como se indica a continuación:

- b1) De una muestra obtenida y preparada como se describe en las cláusulas (002-B) y (002-D) de este Capítulo, teniendo cuidado de secar el material únicamente lo ne

cesario para facilitar su disgregación, se toma y criba una cantidad suficiente para obtener una porción de dieciséis (16) kilogramos de material que pasa la malla Núm. 25.0.

b2) Se divide mediante cuarteo la porción que pase por la malla Núm. 25.0, en cuatro (4) partes con pesos aproximadamente iguales.

c) La prueba se efectúa en la forma siguiente:

c1) Se toma una de las cuatro (4) partes del material y se le incorpora la cantidad de agua necesaria, para que una vez repartida uniformemente, presente una consistencia tal que, al ser comprimido en la palma de la mano, la humedezca muy ligeramente. Para favorecer lo anterior en algunos casos será necesario dejar el material húmedo un cierto tiempo en reposo, cubierto con una lona húmeda.

c2) Se coloca el material humedecido, dentro del molde con su collarín instalado, en tres (3) capas del mismo espesor aproximadamente y se le da a cada una de ellas veinticinco (25) golpes con la varilla metálica, distribuyéndolos uniformemente.

c3) Al terminar la colocación de la última capa, se toma el molde que contiene el material, se coloca en la máquina de compresión y se compacta aplicando lentamente carga uniforme, hasta alcanzar en un lapso de cinco (5) minutos la presión de ciento cuarenta punto seis (140.6) kilogramos por centímetro cuadrado, equivalente a una carga de veintiséis punto cinco

- (26.5) toneladas, aproximadamente; se man tiene esta carga durante un (1) minuto y se hace la descarga en el siguiente minuto. Al llegar a la carga máxima se observa la base del molde y si está ligeramente humedecida, el material tiene la humedad óptima de compactación y ha alcanzado su peso específico o volumétrico máximo.
- c4) Si al llegar a la carga máxima, no se humedece la base del molde, la humedad con que se preparó la muestra es inferior a la óptima y por lo tanto, se toma otra porción representativa del material y se le adiciona una cantidad de agua igual a la del espécimen anterior, más ochenta (80) centímetros cúbicos; se mezcla uniformemente y se repiten en ésta los pasos descritos en los subpárrafos c2) y c3) de este párrafo. Se preparan los especímenes que sean necesarios siguiendo los pasos indicados en este subpárrafo, hasta lograr que en uno de ellos se observe el inicio del humedecimiento de la base del molde con la carga máxima, lo cual generalmente se consigue con menos de cuatro (4) especímenes.
- c5) Si antes de llegar a la carga máxima se humedece la base del molde por haberse iniciado la expulsión de agua, la humedad con que se preparó la muestra es superior a la óptima y en este caso se procede como se indica en el subpárrafo c4) de este párrafo, con la diferencia de que en lugar de adicionar ochenta (80) centímetros cúbicos de agua, se disminuyen **estos o** chenta (80) centímetros cúbicos en cada

nueva porción representativa del material, hasta lograr que en una de ellas, con la carga máxima, se observe el inicio del humedecimiento de la base del molde.

- c6) Terminada la compactación del espécimen preparado con la humedad óptima, se retira el molde de la máquina de compresión y se determina la altura del espécimen, h_e , restando de la altura del molde, la altura entre la cara superior del espécimen y el borde superior del molde; se registra este valor en centímetros, con aproximación de cero punto un (0.1) milímetro.
- c7) Se pesa el molde de compactación que contiene el espécimen compactado y se anota dicho peso W_1 , en kilogramos, con aproximación de cinco (5) gramos.
- c8) Se saca el espécimen del cilindro, se corta longitudinalmente y de la parte central se obtiene una muestra representativa y siguiendo el procedimiento descrito en el inciso (002-E.02) de este Capítulo, se le determina su contenido de agua, w_0 , el cual se anota en la hoja de registro.
- d) Los cálculos y reportes en esta prueba son los siguientes:
- d1) El volumen del espécimen compactado con la humedad óptima se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$V = \frac{A_m \times h_e}{1000}$$

En donde:

V es el volumen del espécimen, en decí

metros cúbicos.

A_m es el área de la sección transversal del cilindro de compactación, en centímetros cuadrados.

h_e es la altura del espécimen, en centímetros.

d2) El peso específico húmedo se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$\gamma_m = \frac{W_i - W_t}{V} \times 1000$$

En donde:

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

W_i es el peso del espécimen húmedo más el peso del molde de compactación, en kilogramos.

W_t es el peso del molde de compactación, en kilogramos.

V es el volumen del espécimen, en decímetros cúbicos.

d3) El peso específico seco máximo, $\gamma_{dm\acute{a}x}$, se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\gamma_{dm\acute{a}x} = \frac{\gamma_m}{100 + w_0} \times 100$$

En donde:

$\gamma_{dm\acute{a}x}$ es el peso específico máximo del espécimen en estado seco, en kilogramos, por metro cúbico.

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

co.

w_0 es la humedad óptima del espécimen, en por ciento.

d4) Se reporta el peso específico seco máximo $\gamma_{dm\acute{a}x}$, en kilogramos por metro cúbico y la humedad óptima w_0 , en por ciento, como valores correspondientes al material ensayado.

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

e1) Que la distribución del agua en el material no sea uniforme.

e2) Que la carga de compactación no se aplique en la forma especificada.

e3) Que para fines de estimación de la humedad óptima se considere como humedecimiento de la base del molde, un exceso de agua libre expulsada al aplicar la carga de compactación.

002-K.07 Para efectuar las pruebas de compactación en materiales para terracerías tratados con estabilizantes, se tomará en cuenta lo indicado en el inciso (009-M.06) de este Libro 6.

002-L DETERMINACION DEL GRADO DE COMPACTACION

002-L.01 El procedimiento que se describe en esta Cláusula tiene por objeto determinar el grado de acomodo de las partículas de un suelo en su estado natural o bien, de las de un material pétreo que forme parte de una estructura, ya sea que ésta se encuentre en construcción o terminada; fundamentalmente consiste en relacionar el peso volumétrico seco en el lugar, con el respectivo peso volumétrico seco máximo, expresándose el resultado en por ciento; ambas determinaciones se efectúan con porciones del suelo o material, correspondientes a un

mismo tamaño, el cual queda limitado de acuerdo con la fracción de suelo que se utilice en la prueba de compactación de laboratorio considerada.

002-L.02 El grado de compactación se determinará en la forma siguiente:

- a) Se obtiene el peso específico seco máximo $\gamma_{dm\acute{a}x}$, del material, de acuerdo con el procedimiento que corresponda de los indicados en la cláusula (002-K).
- b) Se obtiene el peso volumétrico seco en el lugar, del material o fracción del mismo, γ_d , siguiendo uno de los métodos descritos en los incisos (002-J.04) o (002-J.05), excepto que para medir el volumen del sondeo una vez extraído todo el material, las partículas mayores al tamaño con que se realiza la prueba de compactación en el laboratorio, serán separadas mediante cribado y devueltas al sondeo después de iniciarse el vaciado de arena para no considerar el peso y el volumen de aquellas, ni tomarlas en cuenta para la determinación del contenido de agua; dichas partículas deberán colocarse cuidadosamente en la excavación, interrumpiendo el vaciado de la arena, de tal manera que al depositarlas no se altere el acomodo de ésta, la que deberá cubrir a cada una de las partículas individualmente, en tal forma que al completar el vaciado de la arena, ésta las envuelva totalmente sin dejar huecos. En los casos en que haya partículas que por su tamaño deben ser devueltas al sondeo, es más práctico utilizar el método de la trompa y arena descrito en el inciso (002-J.04), ya que ello no implicaría remover el aparato instalado como ocurriría con el procedimiento de cono y are

na.

- c) Se calcula el grado de compactación del material aplicando la siguiente fórmula:

$$G_c = \frac{\gamma_d}{\gamma_{d\text{máx}}} \times 100$$

En donde:

G_c es el grado de compactación del material, en por ciento.

γ_d es el peso específico o volumétrico del material en estado seco, en el lugar, en kilogramos por metro cúbico.

$\gamma_{d\text{máx}}$ es el peso específico o volumétrico seco máximo del material, en kilogramos por metro cúbico.

002-M DETERMINACION DE LOS COEFICIENTES DE VARIACION VOLUMETRICA

002-M.01 Los coeficientes de variación volumétrica cuya determinación se describe en esta Cláusula sirven para conocer las variaciones de volumen que experimenta un material, debidas a cambios en estructura y acomodo de sus partículas; estos coeficientes se definen como la relación del volumen del material en determinadas condiciones, respecto al que tenía en la condición considerada como inicial y, su valor se obtiene mediante la relación inversa de los pesos específicos o volumétricos respectivos. Los coeficientes de variación volumétrica se expresan en forma decimal y no tienen unidades; se aplican a los volúmenes considerados como iniciales, para obtener, de los materiales que forman bancos, préstamos, almacenamientos, etc.; los volúmenes de esos mismos materiales a través de las diferentes etapas de una obra. Tomando en cuenta que las condiciones del material que se comparan dan origen a una gran va

riedad de casos, se tratan en esta Cláusula únicamente los coeficientes de variación volumétrica de estado natural a estado suelto, de estado natural a estado compactado en el lugar, de estado suelto a estado compactado en el lugar y de estado suelto a estado compactado en el laboratorio.

002-M.02 El coeficiente de variación volumétrica de estado natural a estado suelto, es la relación de volumen del material en estado suelto, respecto al que presentaba dicho material en su estado natural y su valor se obtiene mediante la relación entre el peso específico o volumétrico seco del material en su estado natural y el peso específico o volumétrico seco del mismo material en estado suelto, aplicando el siguiente procedimiento:

- a) Se determina el peso específico seco en el lugar, γ_{dn} , del material en su estado natural, de acuerdo con el procedimiento que corresponda de los indicados en las cláusulas (002-J) y (009-L) de este Libro, tomando en cuenta las limitaciones de las pruebas, principalmente en cuanto a tamaño del material.
- b) Se determina el peso específico seco al material en estado suelto, γ_{ds} , de acuerdo con el procedimiento que corresponda de los indicados en las cláusulas (002-J) y (009-L).
- c) Se calcula el coeficiente de variación volumétrica del material, de estado natural a estado suelto, aplicando la siguiente fórmula:

$$C_{ns} = \frac{\gamma_{dn}}{\gamma_{ds}}$$

En donde:

C_{ns} es el coeficiente de variación volumétrica del material, de estado natural a estado suelto, número abstracto.

γ_{dn} es el peso específico seco del material en su estado natural, en kilogramos por metro cúbico.

γ_{ds} es el peso específico seco del material en estado suelto, en kilogramos por metro cúbico.

002-M.03 El coeficiente de variación volumétrica de estado natural a estado compactado en el lugar, es la relación del volumen del material compactado en el lugar, respecto al que presentaba dicho material en su estado natural y su valor se obtiene mediante la relación entre el peso específico o volumétrico seco del material en estado natural y el peso específico o volumétrico seco del mismo material compactado en el lugar; esta última condición es la que presenta el material cuando ha sido sometido a algún procedimiento de acomodo en la obra. El coeficiente mencionado se obtiene mediante el siguiente procedimiento:

- a) Se determina el peso específico seco, γ_{dn} , del material en su estado natural, de acuerdo con el procedimiento que corresponda de los indicados en las cláusulas (002-J) y (009-L), tomando en cuenta las limitaciones de las pruebas, principalmente en cuanto a tamaño del material.
- b) Se determina el peso específico seco del material compactado en el lugar, γ_{dc} , de acuerdo con el procedimiento que corresponda de los indicados en las cláusulas (002-J) y (009-L).
- c) Se calcula el coeficiente de variación volumétrica del material, de estado natural a

estado compactado en el lugar, aplicando la siguiente fórmula:

$$C_{nc} = \frac{\gamma_{dn}}{\gamma_{dc}}$$

En donde:

C_{nc} es el coeficiente de variación volumétrica, de estado natural a estado compactado en el lugar, número abstracto.

γ_{dn} es el peso específico seco del material en su estado natural, en kilogramos por metro cúbico.

γ_{dc} es el peso específico seco del material compactado en el lugar, en kilogramos por metro cúbico.

002-M.04 El coeficiente de variación volumétrica de estado suelto a estado compactado en el lugar, es la relación del volumen del material en esta última condición, respecto al que presentaba en estado suelto, y su valor se obtiene mediante la relación entre el peso específico o volumétrico del material en estado suelto y el peso específico o volumétrico del mismo material compactado en el lugar; el estado suelto se considera en almacenamiento, en los vehículos de transporte, en el camellón o bajo cualquier condición en la que el material, después de haber sido removido de su estado natural o de habersele aplicado un tratamiento, no haya sido sometido a un proceso de compactación. El coeficiente de variación volumétrica se obtiene mediante el siguiente procedimiento:

- a) Se determina el peso específico seco del material en el estado suelto, γ_{ds} , de acuerdo con el procedimiento que corresponda de los indicados en las cláusulas (002-J) y (009-L).

- b) Se determina el peso específico seco del material compactado en el lugar, γ_{dc} , de acuerdo con el procedimiento que corresponda de los indicados en las cláusulas (002-J) y (009-L), tomando en cuenta las limitaciones de las pruebas, principalmente en cuanto a tamaño del material.
- c) Se calcula el coeficiente de variación volumétrica del material, de estado suelto a estado compactado en el lugar, aplicando la siguiente fórmula:

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

En donde:

C_{sc} es el coeficiente de variación volumétrica del material, de estado suelto a estado compactado en el lugar, número abstracto.

γ_{ds} es el peso específico seco del material en estado suelto, en kilogramos por metro cúbico.

γ_{dc} es el peso específico seco del material compactado en el lugar, en kilogramos por metro cúbico.

002-M.05 El coeficiente de variación volumétrica de estado suelto a estado compactado en el laboratorio, es la relación del volumen del material en esta última condición respecto al que presentaba en el estado suelto y su valor se obtiene mediante la relación entre el peso específico o volumétrico seco del material en estado suelto y el peso específico o volumétrico seco del mismo material compactado en el laboratorio, tomando en cuenta en esta última determinación la totalidad de las partículas del material. El coeficiente de variación vo

lumétrica se obtiene mediante el siguiente procedimiento:

- a) Se determina el peso específico seco del material en estado suelto, γ_{ds} , de acuerdo con el procedimiento que corresponda de los indicados en las cláusulas (002-J) y (009-L).
- b) Se determina el peso específico seco máximo del material compactado en el laboratorio, $\gamma_{dm\acute{a}x}$, de acuerdo con el procedimiento que corresponda de los indicados en la cláusula (002-K), debiendo previamente determinarse en la muestra original el por ciento de material con tamaño mayor que el que se utiliza en la prueba de compactación considerada.
- c) Se corrige el peso específico seco máximo del material compactado en el laboratorio, $\gamma_{dm\acute{a}x}$, para tomar en cuenta la totalidad de tamaños que incluye la muestra original mediante la siguiente fórmula:

$$\gamma'_{dm\acute{a}x} = \frac{100}{\frac{X}{\gamma_{dm\acute{a}x}} + \frac{Y}{R \cdot S_{ap} \gamma_o}}$$

En donde:

$\gamma'_{dm\acute{a}x}$ es el peso específico seco máximo corregido, en kilogramos por metro cúbico.

X es el peso del material que pasa la malla Núm. 19.0 o Núm. 25.0, según el caso, en por ciento, respecto a la muestra original.

Y es el peso del material retenido en la malla Núm. 19.0 o Núm. 25.0, según el

caso, en por ciento, respecto a la muestra original.

$\gamma_{dm\acute{a}x}$ es el peso específico seco máximo de la fracción que pasa la malla Núm. 19.0 o Núm. 25.0, según el caso, en kilogramos por metro cúbico.

S_{ap} es el peso específico relativo de la fracción retenida en la malla Núm. 19.0 o Núm. 25.0, determinado de acuerdo con lo descrito en el inciso (002-G.02), número abstracto.

γ_0 es el peso específico del agua, que se considera de mil kilogramos por metro cúbico (1000 kg/m^3).

R es un coeficiente cuyo valor está dado en función de Y en la siguiente tabla:

<u>Y</u>	<u>R</u>
20 o menos	1.00
21 - 25	0.99
26 - 30	0.98
31 - 35	0.97
36 - 40	0.96
41 - 45	0.95
46 - 50	0.94

- d) Se calcula el coeficiente de variación volumétrica del material, de estado suelto a estado compactado en el laboratorio, aplicando la siguiente fórmula:

$$C_{s1} = \frac{\gamma_{ds}}{\gamma'_{dm\acute{a}x}}$$

En donde:

C_{s1} es el coeficiente de variación volumétrica, de estado suelto a estado compactado en el laboratorio.

γ_{ds} es el peso específico seco del material en estado suelto, en kilogramos por metro cúbico.

$\gamma'_{dm\acute{a}x}$ es el peso específico seco máximo corregido, en kilogramos por metro cúbico.

002-N DETERMINACION DE LOS INDICES DE RESISTENCIA DE LOS SUELOS

002-N.01 En esta Cláusula se describen las pruebas que se efectúan a los suelos para determinar las características de resistencia que intervienen principalmente en el diseño de pavimentos. Dichas pruebas son las siguientes:

- Valor relativo de soporte en prueba de Porter estándar
- Valor relativo de soporte en prueba de Porter modificada
- Valor relativo de soporte en el lugar
- Valor relativo de soporte del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos de Norteamérica
- Pruebas de placa
- Determinación del valor R de estabilidad

a) Los métodos para la determinación del valor relativo de soporte consisten en preparar especímenes de suelo compactado y someterlos a la penetración de un cilindro o pistón de dimensiones estandarizadas, para medir su resistencia. La carga requerida para

efectuar una penetración, de dos punto cincuenta y cuatro (2.54) milímetros, referida a una carga estándar de mil trescientos se^uenta (1360) kilogramos, se denomina valor relativo de soporte y se expresa en por ciento.

- b) En el caso de los métodos basados en pruebas de Porter, los especímenes se elaboran compactando el suelo mediante cargas estáticas y se saturan o bien se les incrementa la humedad óptima para tomar en cuenta las condiciones de precipitación y drenaje que prevalecen en el lugar de la obra.
- c) El método que se basa en el del Cuerpo de Ingenieros consiste en elaborar especímenes de prueba con diferentes humedades y energías de compactación dinámica. Una vez compactados los especímenes, se les somete a pruebas de penetración de tal manera que se pueda obtener una relación entre la humedad de compactación, el peso específico y la resistencia de la penetración.
- d) El valor relativo soporte determinado con la prueba de Porter estándar se utiliza como un índice de la calidad de los suelos y los que se obtienen a través de las pruebas de Porter modificada, método basado en el del Cuerpo de Ingenieros y prueba de VRS en el lugar, se emplean para el proyecto de espesores de pavimento.
- e) Las pruebas de placa se efectúan en el lugar con el fin de determinar el módulo de reacción o el valor soporte de una capa de suelo que forma parte de una estructura.
- f) El método del valor R de estabilidad se lleva a cabo en especímenes de suelo para de-

terminar los valores de estabilidad o resistencia en función de la deformación horizontal originada por la aplicación de cargas verticales a los especímenes citados; también se estudian la expansión del suelo de bida a la saturación, la presión bajo la cual el suelo exuda agua y los pesos específicos bajo distintas condiciones de humedad. Para la prueba se elaboran especímenes que se compactan por amasado, empleando diferentes contenidos de agua, de tal manera que para cada uno de éstos se tiene una serie de valores de las características mencionadas, obteniéndose de esta forma una idea amplia del comportamiento del suelo.

002-N.02 La determinación del valor relativo de soporte mediante la prueba Porter estándar se lleva a cabo sobre la fracción del suelo que pasa la malla Núm. 25.0, elaborando un espécimen con la humedad óptima del material por estudiar, de acuerdo con el procedimiento de compactación por carga estática, descrito en el inciso (002-K.06); dicho espécimen se somete a un período de saturación antes de efectuar la determinación del valor relativo de soporte, y se obtiene como dato adicional la expansión del espécimen originada por su saturación.

- a) El equipo y materiales necesarios para efectuar esta prueba son los que se indican en el inciso (002-K.06), requiriéndose además lo siguiente:

Máquina de compresión con capacidad mínima de tres (3) toneladas y aproximación de diez (10) kilogramos, provista de un (1) pistón de penetración, de acero, con diámetro de cuatro punto noventa y cinco (4.95) centímetros y sección de diecinueve punto treinta y cinco (19.35) centímetros cuadrada

dos.

Tanque de saturación con altura mínima de treinta (30) centímetros.

Placa metálica circular de quince punto cuatro (15.4) centímetros de diámetro con perforaciones y un (1) vástago al centro para apoyar el extensómetro, Figura Núm. 62.

Dos (2) placas circulares de carga con diámetro de quince punto cuatro (15.4) centímetros, teniendo un orificio central de cinco punto cuatro (5.4) centímetros de diámetro y un peso de tres (3) kilogramos, cada una, Figura Núm. 62.

Extensómetro con carrera de dos punto cincuenta y cuatro (2.54) centímetros y aproximación de cero punto cero un (0.01) milímetro, provisto de una (1) abrazadera para acoplarlo al cilindro de penetración.

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

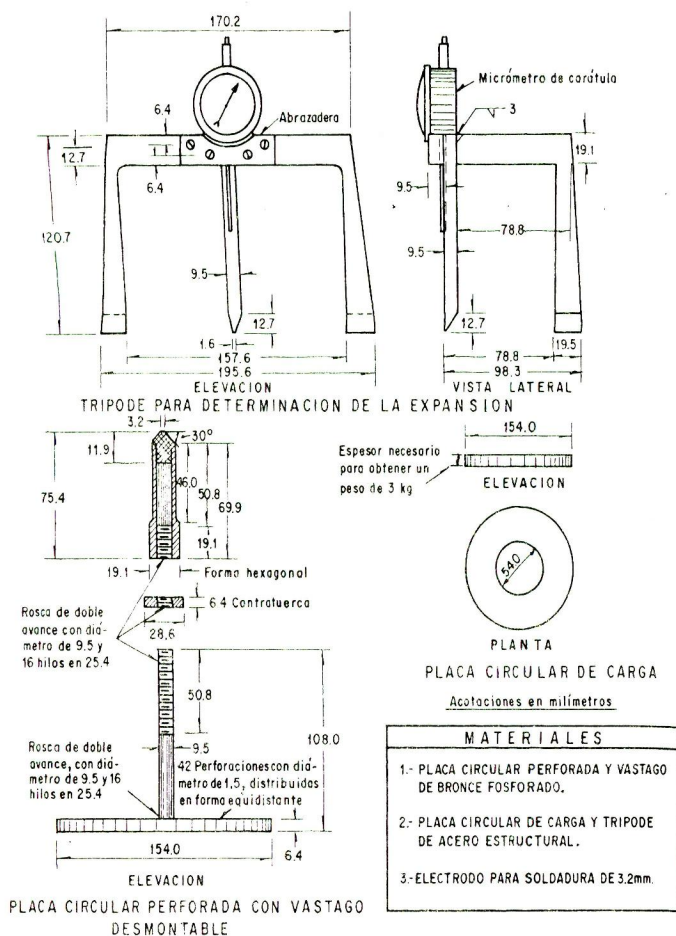
Cronómetro o reloj.

Trípode metálico para sostener el extensómetro.

Malla Núm. 4.75.

Hojas de papel filtro con diámetro de quince punto cuatro (15.4) centímetros.

- b) La preparación de la muestra se efectúa en la forma siguiente:
- b1) De una muestra obtenida y preparada como se indica en las cláusulas (C02-B) y (002 D), respectivamente, teniendo cuidado de secar el material únicamente lo necesario para facilitar su disgregación, se toma



por cuarteo una porción suficiente para obtener aproximadamente dieciseis (16) kilogramos de material que pase la malla Núm. 25.0 y se pesa dicha porción con aproximación de cinco (5) gramos.

- b2) A continuación se criba por la malla Núm. 25.0, se pesa el retenido con aproximación de diez (10) gramos y se determina el por ciento de éste con respecto al total de la porción.
- b3) Si dicho por ciento excede de quince (15), se incorpora a la porción que pasa la malla mencionada, una cantidad con peso igual a la del citado retenido, utilizando material de la fracción que pasa la malla Núm. 25.0 y se retiene en la Núm. 4.75, tomando este último de otra muestra obtenida y preparada como se indica en el subpárrafo b1) de este párrafo.
- b4) Se elimina el retenido en la malla Núm. 25.0 y se forman las muestras de prueba, dividiendo la porción obtenida en partes de cuatro (4) kilogramos, aproximadamente, mediante cuarteo.
- c) La prueba se efectúa en la forma siguiente:
 - c1) Utilizando las muestras de prueba preparadas como se indicó en el párrafo b) de este Inciso y siguiendo el procedimiento que se describe en los subpárrafos c1) a c6) párrafo c) del inciso (002-K.06), se elabora un espécimen con la humedad óptima del material y se le determina su altura h_e , en milímetros, Figura Núm. 63, con aproximación de un (1) milímetro.
 - c2) Se colocan en la parte superior del espé

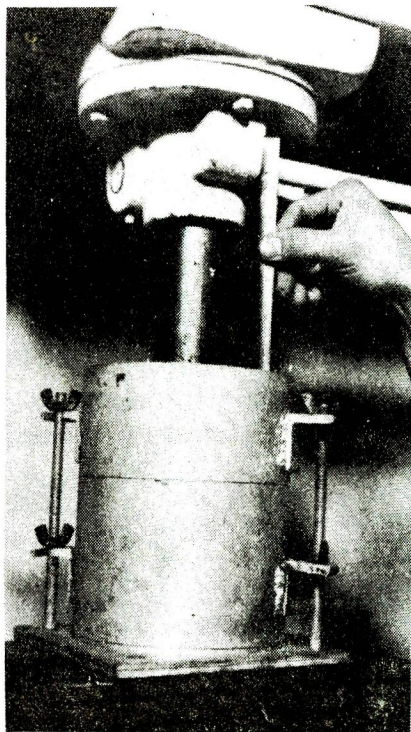


Figura Núm. 63. Determinación de la altura del es
pécimen, por diferencia.

cimen, en el orden en que se indica, una (1) o dos (2) hojas de papel filtro, la placa perforada y las dos (2) placas de carga; enseguida se introduce al tanque de saturación el molde conteniendo el es pécimen, procurando que este último quede totalmente cubierto por el agua, con un tirante aproximado de dos (2) centímetros sobre el borde superior del molde.

c3) Inmediatamente después, con el objeto de

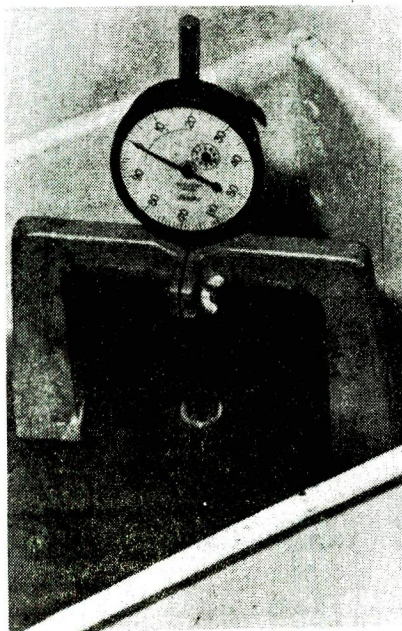


Figura Núm. 64. Instalación del extensómetro para medir la expansión.

determinar la expansión del espécimen por saturación, se monta el trípode sobre los bordes del molde y se le instala el extensómetro apoyándolo sobre el vástago de la placa perforada, Figura Núm. 64. Se toma la lectura inicial del extensómetro, anotándola como l_i , en milímetros, con aproximación de cero punto cero un (0.01) milímetro; se verifica cada veinticuatro (24) horas la lectura del extensómetro y cuando en dos (2) lecturas sucesivas se observe que no hay diferencia, se anota su valor como lectura final del extensóme

tro 1f, en milímetros, con aproximación de cero punto cero un (0.01) milímetro y se retiran del tanque de saturación el trípode con el extensómetro y el molde con el espécimen. El período de saturación generalmente varía de tres (3) a cinco (5) días.

- c4) Cuando no se requiera mucha aproximación en la determinación de la expansión, se podrán hacer las mediciones del incremento de altura que experimente el espécimen, utilizando un calibrador de vernier, con aproximación de cero punto un (0.1) milímetro, debiendo hacerse lecturas en diferentes puntos para promediar el valor obtenido.
- c5) A continuación se coloca el molde que contiene el espécimen y las placas en posición horizontal y se deja así durante tres (3) minutos, a la sombra, para que escurra el agua. Inmediatamente después se retiran las placas y el papel filtro, y se vuelven a colocar únicamente las dos (2) placas de carga.
- c6) Se instalan en la prensa el extensómetro y el molde con el espécimen y las placas de carga, introduciendo el cilindro de penetración, montado en el vástago de la prensa, a través de los orificios de las placas, hasta tocar la superficie de la muestra; se aplica una carga inicial no mayor de diez (10) kilogramos e inmediatamente después, sin retirar la carga, se ajusta el extensómetro para registrar el desplazamiento vertical del cilindro de penetración, Figura Núm. 65.
- c7) Se aplica carga para que el pistón pene

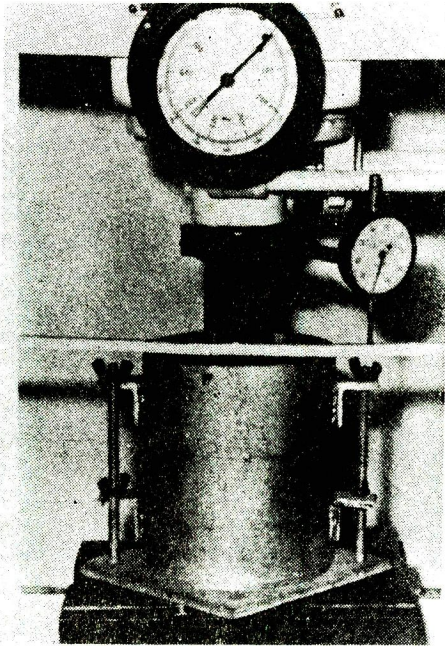


Figura Núm. 65. Instalación del molde con el espécimen y las placas de carga, para efectuar la penetración.

tre en el espécimen con una velocidad uniforme aproximadamente de uno punto veintisiete (1.27) milímetros por minuto, anotando las cargas necesarias para obtener cada una de las penetraciones indicadas en el siguiente cuadro, con aproximación de diez (10) kilogramos.

<u>Lecturas</u>	<u>Tiempo en minutos</u>	<u>Penetraciones en milímetros</u>
Primera	1	1.27
Segunda	2	2.54
Tercera	3	3.81
Cuarta	4	5.08
Quinta	6	7.62

- c8) Inmediatamente después de efectuada la penetración, se obtiene una muestra de la parte superior del espécimen, hasta dos punto cinco (2.5) centímetros de profundidad y se determina el contenido de agua de acuerdo con lo indicado en el inciso (002-E.02) de este Capítulo.
- d) Se representan gráficamente los valores de terminados, como sigue:
- d1) En un sistema de ejes coordenados se marcan los puntos correspondientes a las penetraciones y cargas antes mencionadas, las primeras en el eje de las abscisas y las segundas en el eje de las ordenadas, y uniendo dichos puntos se dibuja la curva correspondiente, la cual no deberá presentar cambios bruscos de pendiente y en general será de la forma de las que se muestran con líneas llenas en la Figura Núm. 66, si la curva es defectuosa como la dibujada con línea interrumpida en la Figura antes mencionada, la prueba no estuvo bien efectuada y deberá repetirse con una porción nueva de material.
- d2) En los casos en que la curva dibujada presente en su iniciación concavidad hacia arriba, se efectúa la corrección correspondiente trazando una tangente en el punto de máxima pendiente, punto A de la Figura Núm. 67, hasta cortar el eje de las abscisas en el punto que se designa como B, el cual se tomará como nuevo origen y a partir de él se marca el punto C, correspondiente a la penetración de dos punto cincuenta y cuatro (2.54) milímetros; la ordenada CC', representa la carga corregida para dicha penetración, en kilo

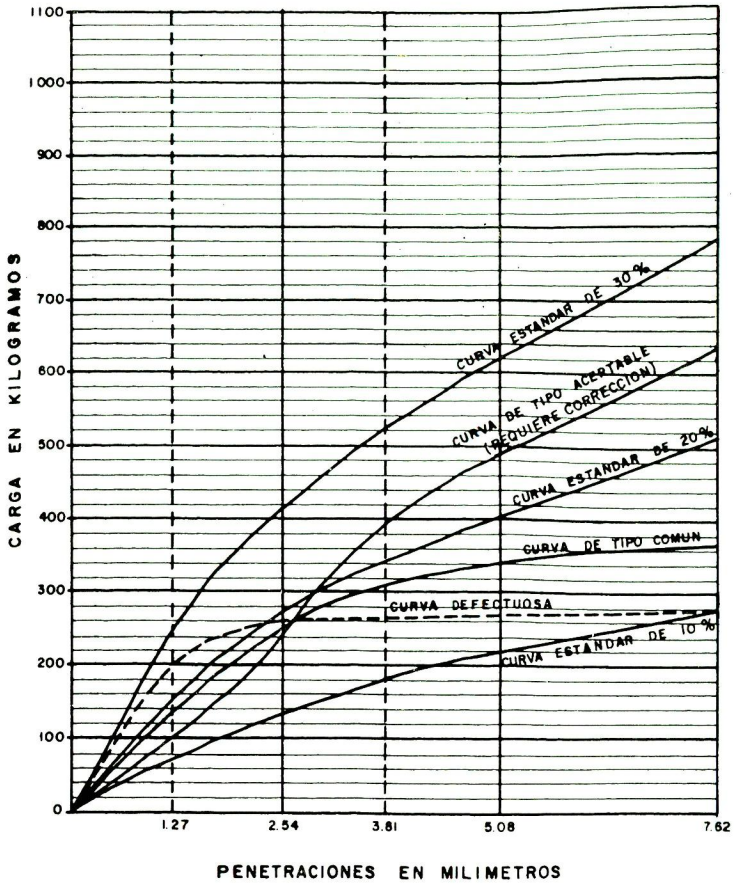


Figura Núm. 66. Forma de las curvas carga - penetración

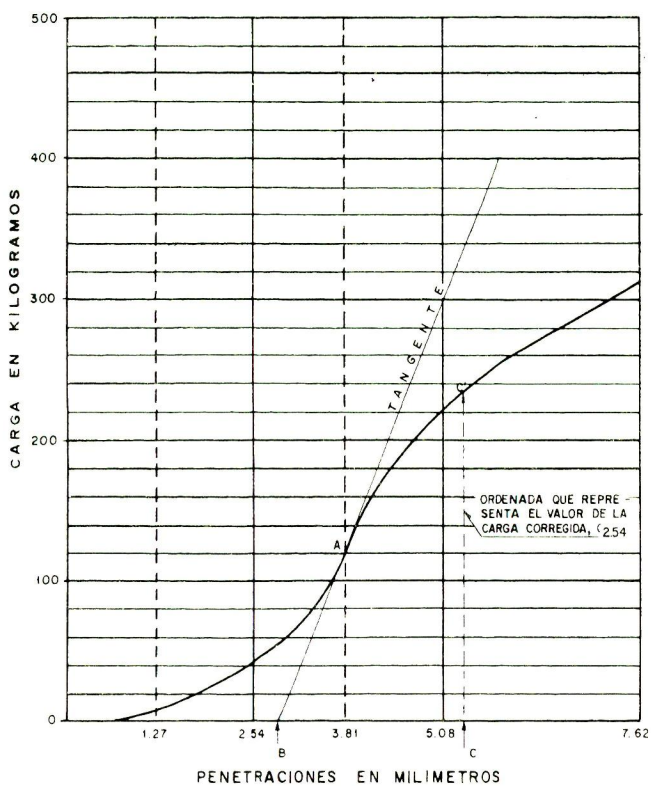


Figura Núm. 67. Corrección a la curva carga - penetración

gramos.

d3) Se registra la carga correspondiente a la penetración de dos punto cincuenta y cuatro (2.54) milímetros, $C_{2.54}$, con aproximación de diez (10) kilogramos; en el caso mencionado en el subpárrafo d2) de este párrafo, este valor corresponderá a la carga corregida.

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

e1) El valor relativo de soporte de la muestra, con la siguiente fórmula:

$$VRS = \frac{C_{2.54}}{1360} \times 100$$

En donde:

VRS es el valor relativo de soporte de la muestra, referido a la carga estándar de penetración de mil trescientos sesenta (1360) kilogramos, en por ciento.

$C_{2.54}$ es la carga correspondiente a la penetración de dos punto cincuenta y cuatro (2.54) milímetros, en kilogramos.

e2) La expansión de la muestra, por medio de la fórmula siguiente:

$$E = \frac{l_f - l_i}{h_e} \times 100$$

En donde:

E es la expansión de la muestra, en por ciento.

l_f es la lectura del extensómetro al fi

nalizar la saturación, en milímetros.

l_i es la lectura del extensómetro al iniciarse la saturación, en milímetros.

h_e es la altura inicial del espécimen, en milímetros.

e3) La humedad real de prueba, determinada como se indica en el subpárrafo c8), párrafo c), de este inciso.

f) Las causas más frecuentes de error en esta prueba, además de las que se indican en el párrafo e) del inciso (002-K.06), son las siguientes:

f1) Que no se sustituya adecuadamente en la muestra el material retenido en la malla Núm. 25.0.

f2) Que se exceda el tiempo de escurrimiento del agua en el espécimen saturado.

f3) Que la aplicación de la carga de penetración no se efectúe a la velocidad especificada.

002-N.03 La prueba de Porter modificada tiene por objeto determinar el valor relativo de soporte de los suelos empleados o que se pretenden utilizar en las terracerías, principalmente en la capa sub-rasante, y se lleva a cabo en especímenes con diferentes grados de compactación y en condiciones de humedad estimadas como las más desfavorables que se considere puedan alcanzar dichos suelos durante la operación de la obra; generalmente se utiliza este valor relativo de soporte en el proyecto o revisión de espesores de pavimento, teniendo tres (3) variantes, según las cuales los especímenes correspondientes se elaboran ya sea con material que con tenga la humedad óptima, con humedad igual o superior a la óptima, o bien con la humedad natural.

- a) La variante uno (1) se llevará a cabo tomando en cuenta lo siguiente:
- a1) La prueba consiste en determinar el valor relativo de soporte en especímenes elaborados a diferentes grados de compactación, utilizando suelos que contienen su humedad óptima, obteniendo en cada uno de los especímenes el valor relativo de soporte; esta variante se aplica al estudio de terracerías con drenaje adecuado, construidas en lugares de precipitación baja o media.
 - a2) El equipo necesario es el que se requiere para la prueba de Porter estándar indicado en el párrafo a) del inciso (002-N.02), exceptuando el tanque de saturación, la placa metálica circular perforada, el trípode metálico y las hojas de papel filtro.
 - a3) La preparación de la muestra se efectúa como se describe en el párrafo b) del inciso (002-N.02), para la prueba Porter estándar, con la salvedad de que las muestras de prueba deberán tener de cinco (5) a seis (6) kilogramos de peso y serán en número de cuatro (4) a seis (6), según la cantidad de especímenes que se requiera elaborar.
 - a4) La prueba se efectúa en la forma siguiente:
 - a4.a) A una muestra del material por estudiar, se le determina su peso específico máximo y su humedad óptima de acuerdo con el tipo de material y el procedimiento de prueba que se utilice, de los que se describen en los incisos (002-K.02), (002-K.03), (002-K.04), (002-K.05) y (002-K.06).

a4.b) A otra muestra del mismo material, obtenida y preparada de acuerdo con lo que se indica en el subpárrafo a3) de este párrafo, se le determina su contenido de agua siguiendo el procedimiento descrito en el inciso (002-E.02) de este Capítulo.

a4.c) A continuación se pesa la porción restante de la muestra a la que se le determina su humedad, se anota su peso W_m , en gramos, con aproximación de cinco (5) gramos y se agrega la cantidad de agua necesaria para que alcance su humedad óptima de compactación, la cual se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$A = W_m \frac{w_2 - w_1}{100 + w_1}$$

En donde:

A es el volumen de agua por agregar, en centímetros cúbicos.

W_m es el peso de la muestra con su humedad inicial, en gramos.

w_2 es la humedad óptima, en por ciento.

w_1 es la humedad inicial del material, en por ciento.

a4.d) Inmediatamente después se mezcla convenientemente el material y se pesa la muestra de prueba que se requiere para llenar el molde sin la extensión, determinando dicha cantidad para una compactación de cien por ciento (100%), con la siguiente fórmula:

$$P_w = \frac{C}{100} \times \frac{\gamma_d}{1000} \times \frac{100 + w_2}{100} \times V$$

En donde:

P_w es el peso de la muestra de prueba en estado húmedo, en kilogramos.

C es el grado de compactación con que se va a elaborar el espécimen, en por ciento.

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

w_2 es la humedad óptima, en por ciento.

V es el volumen del cilindro de prueba sin collarín, en decímetros cúbicos.

a4.e) Se coloca la muestra de prueba en tres (3) capas, dentro del molde con el collarín instalado, acomodando cada capa con veinticinco (25) golpes de la varilla metálica, procurando que no haya pérdida del material ni de humedad.

a4.f) Se instala el molde en la máquina de compresión y se compacta la muestra en forma lenta y uniforme, debiéndose retirar la carga momentáneamente, a cada cinco (5) toneladas, para dar tiempo a que el material se acomode, en esta forma se continúa la aplicación de la carga hasta que el espécimen tenga la altura del cilindro sin el collarín y en el momento en que esto ocurre se sostiene la última posición durante un (1) minuto. Si se presenta expulsión de agua antes de tener el espécimen la altura del molde, se mantiene la carga que se esté aplicando en ese momento, hasta que disminuya nota

blemente la salida del agua, y cuando esto ocurre, se da un pequeño incremento a la carga, repitiendo esta operación no más de tres (3) veces para que el espécimen tenga la altura fijada; de lo contrario, la muestra deberá desecharse.

- a4.g) Se retira lentamente la carga del espécimen, se mide en éste el incremento de altura que experimenta y se le aplica nuevamente carga hasta que la cara superior del espécimen baje el doble del incremento citado. Se repite esta operación no más de tres (3) veces, hasta que el espécimen tenga la altura fijada; en el caso de que éste quede con una altura menor, deberá desecharse la muestra, repitiendo la prueba con otra porción del material. Si durante cualquiera de las operaciones de carga hay expulsión de material, se repetirá la prueba con otra porción representativa de la muestra, revisando previamente los cálculos correspondientes.
- a4.h) A continuación se colocan las dos (2) placas de carga, se efectúa la penetración del espécimen, se dibuja la gráfica carga - penetración correspondiente y se determina la carga $C_{2.54}$, de acuerdo con lo indicado en los subpárrafos c6) a c8), párrafo c) y d1) a d3), párrafo d), del inciso (002-N.02).
- a4.i) Se repiten en nuevas muestras de material los pasos descritos en los sub-subpárrafos a4.a) al a4.h) de este subpárrafo, variando el grado de compactación de los especímenes, a valores de noventa y

cinco por ciento (95%), noventa por ciento (90%) y a los demás porcentajes a que se requiera estudiar el material.

- a5) En esta prueba se calcula y reporta lo siguiente:
- a5.a) El valor relativo de soporte para cada espécimen, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$VRS = \frac{C_{2.54}}{1360} \times 100$$

En donde:

VRS es el valor relativo de soporte en la prueba Porter modificada, en por ciento.

$C_{2.54}$ es la carga aplicada al espécimen o la carga corregida, para una penetración de dos punto cincuenta y cuatro (2.54) milímetros, en kilogramos.

- a6) Las causas más frecuentes de error en esta prueba son las que se indican en el párrafo e) del inciso (002-K.06), en los subpárrafos f1) y f3), párrafo f), del inciso (002-N.02) y además la siguiente: que la humedad y el peso del material que se utilicen en la prueba no sean los correctos.
- b) La variante dos (2) se efectuará tomando en cuenta lo siguiente:
- b1) La prueba consiste en determinar el valor relativo de soporte en especímenes elaborados a diferentes grados de compactación, utilizando suelos que contienen su humedad óptima y también humedades mayores

que ésta; se aplica al estudio de terracerías mal drenadas que se localizan en zonas de precipitación media, o bien, a las de regiones de alta precipitación pluvial.

- b2) El equipo necesario para efectuar esta prueba es el que se requiere para la variante uno (1) de la prueba Porter modificada, indicado en el subpárrafo a2), párrafo a), de este inciso.
- b3) La preparación de la muestra se lleva a cabo de acuerdo con lo que se indica en el subpárrafo a3), párrafo a), de este inciso.
- b4) La prueba se efectúa en la forma siguiente:
 - b4.a) Se llevan a cabo los pasos descritos en el subpárrafo a4), párrafo a) de este inciso, variando el grado de compactación y la humedad como se indica a continuación:

<u>Por ciento de compactación</u>	<u>Humedad de prueba</u>
100	Humedad óptima
95	Humedad óptima más 1.5%
90 a 75	Humedad óptima más 3.0%

- b5) En esta prueba se calcula y reporta el valor relativo de soporte VRS para cada espécimen, de acuerdo con lo indicado en el subpárrafo a5), párrafo a) de este inciso.
- b6) Las causas más frecuentes de error en esta prueba, son las que se indican en el párrafo e) del inciso (002-K.06), en los

subpárrafos f1) y f3), párrafo f), del inciso (002-N.02) y además que la humedad y el peso del material que se utilicen en la prueba no sean los correctos.

c) La variante tres (3) se efectuará como se indica a continuación:

c1) La prueba se ejecuta en muestras tomadas en el terreno o en la obra, sin variar su humedad, con las cuales se elaboran especímenes compactados a diferentes pesos específicos incluyendo el del lugar para determinar en cada uno el valor relativo de soporte correspondiente; se efectúa a suelos que no van a presentar cambios apreciables en su contenido de agua y siempre que éste se encuentre dentro de límites que permitan la elaboración de los especímenes.

c2) El equipo necesario será el que se requiere para la variante uno (1) de la prueba Porter modificada, indicado en el subpárrafo a2), párrafo a), de este Inciso.

c3) El muestreo correspondiente se llevará a cabo tomando veinticinco (25) kilogramos de suelo, de acuerdo con lo indicado en el inciso (002-B.03), debiendo transportarse la muestra en recipientes de lámina con tapa de cierre hermético, o bien, en bolsas de lona impermeabilizadas, en tal forma que no pierda humedad.

c4) La prueba se efectúa en la forma siguiente:

c4.a) En una muestra obtenida según lo indicado en el subpárrafo c3), de este párrafo, se llevan a cabo los pasos indicados en

los sub-subpárrafos a4.a), a4.b) y a4.d) al a4.i) del subpárrafo a4), párrafo a), de este inciso, cuidando que la muestra no pierda humedad y compactando para reproducir el peso volumétrico del lugar y otros que se requieran para estudiar el material.

c5) En esta prueba se calcula y reporta el valor relativo de soporte para cada espécimen, es decir, para cada grado de compactación de acuerdo con lo indicado en el subpárrafo a5), párrafo a), de este inciso.

c6) En esta variante deben tomarse precauciones para que la muestra preparada no pierda humedad antes de efectuar la prueba, por lo que es necesario verificar el contenido de agua y descartar las muestras que registren pérdida sensible de humedad, en cuyo caso se hará un nuevo muestreo. Deben tomarse en cuenta también las causas de error mencionadas en el subpárrafo a6), párrafo a), de este inciso.

002-N.04 En este inciso se describe la prueba directa para la determinación del valor relativo de soporte en el lugar, de las terracerías compactadas, principalmente las que forman la capa subrasante, cuando están constituidas por materiales finos que han alcanzado un grado de saturación no menor del ochenta por ciento (80%). La prueba consiste en hacer penetrar un cilindro o pistón de acero, por medio de un equipo portátil de carga, utilizando como elementos de reacción un vehículo; la relación entre la carga aplicada para obtener una penetración de dos punto cincuenta y cuatro (2.54) milímetros y la carga estándar de un mil trescientos sesenta (1360) kilogramos es el valor relativo de soporte co

rrespondiente y se expresa en por ciento. El resultado de esta determinación se utiliza en el proyecto y revisión de espesores de pavimento y su mayor aplicación se tiene en la reconstrucción de carreteras a fin de analizar diferentes alternativas.

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

Equipo portátil de carga compuesto de: un (1) gato mecánico o hidráulico de cuatro punto cinco (4.5) toneladas de capacidad; aparato de medición constituido por dos (2) anillos calibrados con aproximación de cuatro punto cincuenta y cuatro (4.54) kilogramos y capacidad de novecientos (900) y tres mil (3000) kilogramos, respectivamente; base ajustada al gato provista de extensiones para sujetar el cilindro o pistón de penetración, con sección circular de diecinueve punto treinta y cinco (19.35) centímetros cuadrados, que se adapte a las extensiones antes mencionadas, Figura Núm. 68.

Placa circular de acero con diámetro de veinticinco punto cuatro (25.4) centímetros, que tenga un orificio central de cinco punto cuatro (5.4) centímetros de diámetro y peso de cuatro punto cincuenta y cuatro - (4.54) kilogramos.

Placas circulares de acero para sobrecarga, con diámetro de quince punto cuatro (15.4) centímetros, que tengan un orificio central de cinco punto cuatro (5.4) centímetros de diámetro y un peso de tres (3) kilogramos cada una.

Extensómetro con carrera de dos punto cincuenta y cuatro (2.54) centímetros y aproxima

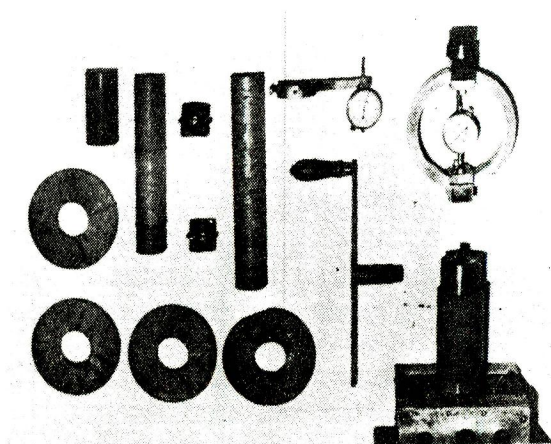


Figura Núm. 68. Equipo portátil de carga para la prueba directa de valor relativo de soporte en el lugar.

mación de un centésimo (0.01) de milímetro, provisto de una abrazadera para acoplarlo al pistón de penetración.

Bloque o elemento rígido de forma geométrica regular y de dimensiones apropiadas para apoyar el vástago del extensómetro.

Vehículo lastrado o dispositivo con peso total suficiente para producir una reacción mínima de tres mil (3000) kilogramos, a fin de ser utilizado como apoyo del equipo de carga.

Cronómetro o reloj.

Palas de forma rectangular, picos, barretas, etc.

b) La prueba se efectúa en la forma siguiente:

- b1) Se prepara el sitio de prueba dejando al descubierto la capa que se vaya a estudiar, para lo cual se elimina la parte superior de la misma que se encuentre alterada, en una superficie de forma rectangular cuya dimensión menor tenga cincuenta (50) centímetros, aproximadamente; esta superficie se hace sensiblemente horizontal, se empareja de tal manera que no presente salientes mayores de dos (2) centímetros, se le eliminan las partículas sueltas que tenga y a continuación se cubre con una manta húmeda para evitar que el material pierda agua por evaporación.
- b2) Inmediatamente después se coloca en forma conveniente sobre el sitio de prueba, el vehículo que se utiliza como dispositivo de reacción y se hace descansar su chasis sobre piezas de madera apoyadas en el terreno, a fin de eliminar el efecto de las muelles.
- b3) A continuación se retira la manta húmeda, se coloca en el sitio de prueba la placa circular de cuatro punto cincuenta y cuatro (4.54) kilogramos y encima de ésta se colocan las placas de sobrecarga para producir una presión equivalente a la que inducirá al peso propio de las capas de material que se estime vayan a construirse sobre la superficie de la prueba.
- b4) Se instala el equipo portátil de carga y el extensómetro, en posición vertical, haciendo pasar la aguja de penetración a través de los orificios de las citadas placas. Este dispositivo debe quedar como se muestra en la Figura Núm. 69.

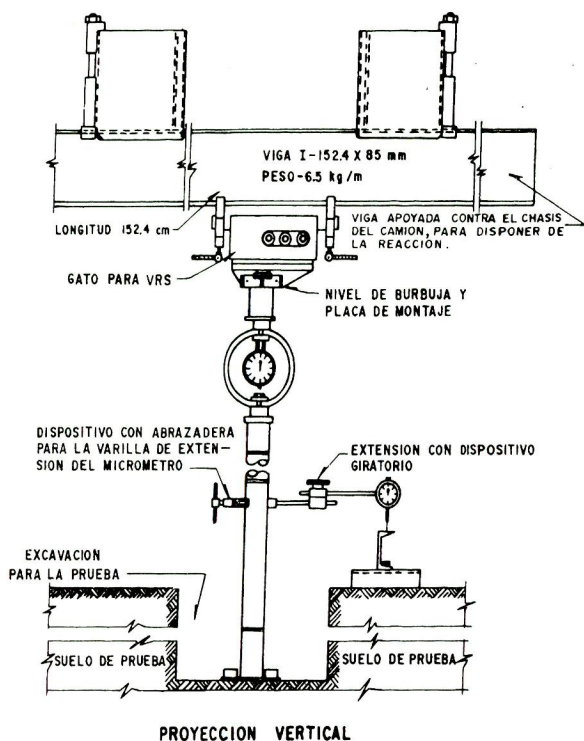


FIGURA NUM. 69. INSTALACION DEL EQUIPO PORTATIL DE CARGA PARA EFECTUAR LA PRUEBA DIRECTA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE.

- b5) Se ajusta el extensómetro y se continúa la prueba, siguiendo los pasos indicados en los subpárrafos c6) y c7), párrafo c) y en el párrafo d) del inciso (002-N. 02) de este Capítulo.
- b6) Ampliando la parte descubierta de la capa en estudio se repite en lugares que disten no menos de quince (15) centímetros el procedimiento descrito en los subpárrafos b1) a b5) de este párrafo, hasta contar con tres (3) determinaciones de la carga $C_{2.54}$ aplicada o corregida, las cuales deberán cumplir con el siguiente criterio de aceptabilidad:
- b6.a) En el caso de que en dos (2) de las tres (3) determinaciones se obtengan cargas menores de ciento cincuenta (150) kilogramos, la diferencia entre la mínima y la máxima no será mayor de treinta (30) kilogramos.
- b6.b) En el caso de que en dos (2) de las tres (3) determinaciones se obtengan cargas comprendidas entre ciento cincuenta - (150) y cuatrocientos cincuenta (450) kilogramos, la diferencia entre las cargas mínima y máxima no será mayor de setenta (70) kilogramos.
- b6.c) En el caso de que en dos (2) de las tres (3) determinaciones se obtengan cargas comprendidas entre cuatrocientos cincuenta (450) y ochocientos (800) kilogramos, la diferencia entre la mínima y la máxima no será mayor de ciento cuarenta (140) kilogramos.
- b6.d) Para cargas superiores a ochocientos (800) kilogramos se considera que no tienen importancia las variaciones en las lecturas individuales.

- b7) En el caso de que las tres (3) primeras determinaciones de la carga $C_{2.54}$, aplicada o corregida, no cumplan con el criterio de aceptabilidad indicado en los subpárrafo b6.a) a b6.d), subpárrafo b6) de este párrafo, se efectuarán otras tres (3) en la misma área descubierta, a no menos de quince (15) centímetros de las zonas afectadas por las pruebas anteriores, tomándose en cuenta los resultados de las seis (6) determinaciones, para el cálculo del VRS, según se indica en el párrafo c).
- b8) Con objeto de tener mayor información sobre las condiciones del suelo, bajo las cuales se llevó a cabo la determinación del valor relativo de soporte en el lugar, se determinará el grado de compactación en el sitio preparado para efectuar las pruebas citadas, siguiendo el procedimiento indicado en la cláusula (002-L) de este Capítulo.
- c) En esta prueba se calcula y reporta lo siguiente:
- c1) El promedio de las tres (3) o seis (6) determinaciones de las cargas $C_{2.54}$, designando este valor como $C'_{2.54}$, en kilogramos.
- c2) El valor relativo de soporte en el lugar, con la siguiente fórmula:

$$VRS = \frac{C'_{2.54}}{1360} \times 100$$

En donde:

VRS es el valor relativo de soporte de la capa estudiada, en el lugar de prueba, expresado como un porcentaje

de la carga estándar de penetración de mil trescientos sesenta (1360) kilogramos.

C' 2.54 es la carga promedio correspondiente a la penetración de dos punto cincuenta y cuatro (2.54) milímetros, en kilogramos.

d) Las causas más frecuentes de error al efectuar esta prueba, son las siguientes:

- d1) Que se lleve a cabo en una capa en la cual no se reúnen las condiciones establecidas para la aplicabilidad de la prueba o las que prevalecerán en la obra, principalmente en lo que se refiere a humedad y compactación de los suelos que la forman.
- d2) Que la superficie de prueba no haya sido debidamente acondicionada.
- d3) Que una vez preparado el sitio de prueba, el material pierda humedad antes de iniciarse la penetración.
- d4) Que al instalar el extensómetro, el bloque en que se apoya el vástago no esté correctamente asentado en el terreno y que no se tomen en cuenta las variaciones que los anillos calibrados sufren con los cambios de temperatura.

002-N.05 En este inciso se describe la prueba de valor relativo de soporte, en especímenes compactados dinámicamente, basada en el método del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos.

- a) La prueba se efectúa a los suelos que se emplean en la construcción de terracerías y consiste en elaborar especímenes utilizando la fracción del suelo que pasa la malla Núm.

19.0, compactándolos mediante impactos, con diferentes contenidos de agua y variando la energía de compactación, con objeto de cubrir los valores de peso específico y humedad que pueden presentarse en la obra. Dichos especímenes se someten normalmente a un período de saturación antes de efectuarse la determinación del valor relativo de soporte, obteniéndose como dato adicional la expansión producida durante la saturación. El resultado de estas determinaciones se utiliza tanto en el proyecto de espesores de pavimentos como en la determinación de las condiciones de compactación más favorables, o bien, para el estudio de materiales que por sus características y condiciones de uso especiales, requieran ser analizados con mayor detalle.

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

Moldes cilíndricos de metal de ciento cincuenta y dos punto cuatro (152.4) milímetros de diámetro interior y ciento setenta y siete punto ocho (177.8) milímetros de altura, provistos de un collarín o extensión de cincuenta punto ocho (50.8) milímetros de altura, una placa de base con perforaciones de uno punto seis (1.6) milímetros de diámetro y por cada grupo de moldes una placa base sin perforaciones. Tanto las placas de base como el collarín deberán fabricarse de tal manera que puedan fijarse en cualquier extremo del molde, Figura Núm. 70.

Disco espaciador metálico de ciento cincuenta punto ocho (150.8) milímetros de diámetro por sesenta y uno punto cuatro (61.4)

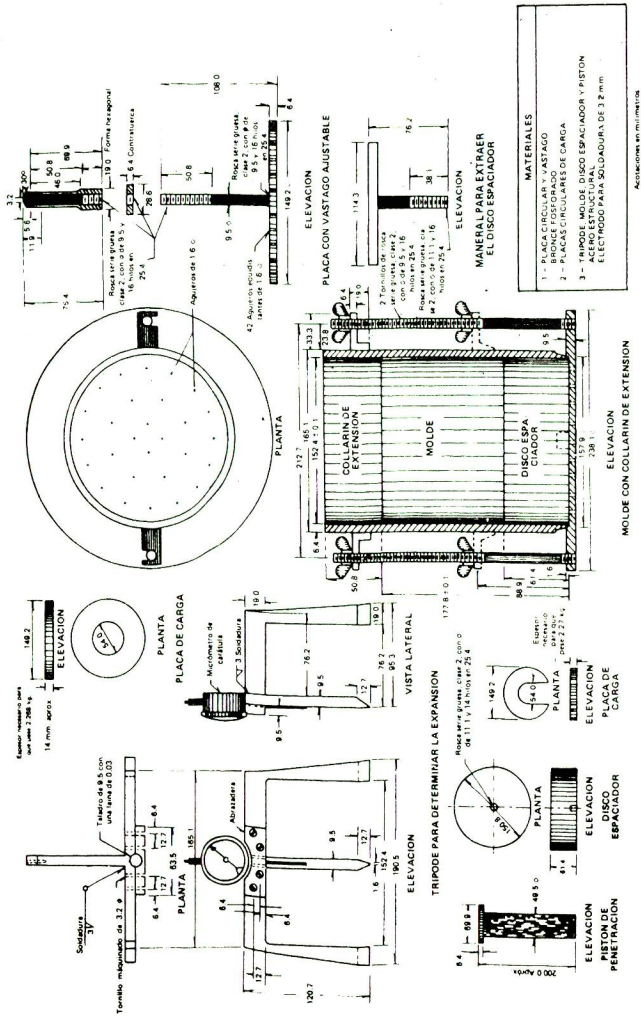


Figura Núm. 70. Equipo para la prueba de VRS
del Cuerpo de Ingenieros E.U.A.

milímetros de espesor.

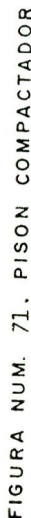
Pisón de compactación del tipo de martillo deslizante, consistente en un (1) pie o base cilíndrica, de acero, de cincuenta punto ocho (50.8) milímetros de diámetro; guía de acero de quince punto nueve (15.9) milímetros de diámetro, martillo deslizante con peso de cuatro mil quinientos treinta y seis (4536) gramos y empuñadura del pisón. La forma del pie del pisón y del martillo deslizante, deberán ser tales que permitan la aplicación de golpes en la superficie contigua a la pared interior del molde. La varilla deberá unirse al pie del pisón mediante un sistema amortiguador de resorte; el peso máximo del pisón compactador será de siete punto noventa y tres (7.93) kilogramos y la altura libre de caída para el martillo deslizante deberá ser de cuatrocientos cincuenta y siete punto dos (457.2) milímetros, Figura Núm. 71.

Malla Núm. 19.0.

Malla Núm. 4.75.

Dispositivo de medición de expansión que consiste en una placa perforada con vástago ajustable, trípode y un extensómetro para medir la expansión del suelo con aproximación de cero punto cero un (0.01) milímetro.

Una (1) placa anular y dos (2) circulares seccionadas, con un peso de dos punto veintisiete (2.27) kilogramos cada una, diámetro exterior de ciento cuarenta y nueve punto dos (149.2) milímetros y diámetro interior de cincuenta y cuatro punto cero (54.0) milímetros. Estas placas se utilizarán como



sobrecargas en la superficie del espécimen durante los períodos de saturación y penetración.

Pistón de penetración con diámetro de cuarenta y nueve punto cinco (49.5) milímetros y longitud de doscientos (200) milímetros.

Dispositivo de aplicación de cargas, consistente en una (1) máquina de pruebas de capacidad mínima de cuatro punto cinco (4.5) toneladas, con marco adaptado para sujetar el pistón de penetración y hacerlo penetrar en el espécimen a una velocidad uniforme de uno punto tres (1.3) milímetros por minuto.

Regla de acero biselada de treinta (30) centímetros de longitud.

Balanza con capacidad no menor de quince (15) kilogramos y aproximación de cinco (5) gramos.

Tanque de saturación.

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

Base cúbica de concreto con dimensiones mínimas de cuarenta (40) centímetros por lado, o un cuerpo con rigidez similar.

Cronómetro con aproximación de cero punto dos (0.2) segundos.

Papel filtro grueso.

Hojas de plástico delgado y resistente.

c) La preparación de la muestra deberá efectuarse como se indica a continuación:

c1) De una (1) muestra obtenida y preparada como se indica en las cláusulas (002-B) y

(002-D), respectivamente, se toma por cuarteo una porción de cien (100) kilogramos aproximadamente.

- c2) De la porción obtenida se separa mediante cribado el retenido en la malla Núm. 19.0 y se determina su peso; se desecha dicho retenido y se reemplaza con una fracción igual en peso, de material que pasa la malla Núm. 19.0 y se retiene en la Núm. 4.75. Esta fracción se obtendrá por cribado del material restante de la muestra original.
- c3) Se divide por cuarteo en doce (12) o quince (15) partes iguales la porción de cien (100) kilogramos, en la cual se han sustituido las partículas retenidas en la malla Núm. 19.0; cada una de estas partes constituye una muestra de prueba y con ellas se forman tres (3) grupos de cuatro (4) o cinco (5) muestras cada uno.
- d) La prueba se efectúa en la forma siguiente:
 - d1) Se toma un primer grupo de muestras y se procede con éste como se indica a continuación:
 - d1.a) Se ajusta la humedad en las diferentes muestras de prueba en tal forma que sus contenidos de agua se incrementen de una a otra muestra en dos por ciento (2%) aproximadamente, con respecto al peso del material húmedo; para obtener esta relación de incrementos se adicionará agua, o disminuirá ésta mediante secado, pero no se harán estas dos (2) operaciones en una misma muestra y en ningún caso se secarán totalmente. Los contenidos de agua en las muestras de este grupo deberán e

legirse en tal forma que cuando menos dos (2) tengan humedad inferior a la óptima y dos (2) superior a ésta. La humedad óptima aproximada será usualmente la humedad mínima para que el material presente una consistencia tal que al ser comprimido en la palma de la mano, no la humedezca y que a la vez, pueda formar grumos. Una vez adicionada la cantidad de agua requerida se mezcla completamente cada muestra de prueba, y se cubre con una lona humedecida para evitar pérdidas por evaporación. En el caso de suelos arcillosos será necesario dejar en reposo el material húmedo durante cierto tiempo, cubierto con una lona humedecida para que el agua penetre adecuadamente en el material.

dl.b) Se coloca el disco espaciador sobre la placa de base y se arma el molde, poniendo además una hoja de papel filtro en la parte superior del disco, quedando éste con la perforación hacia abajo.

dl.c) Se toma una de las muestras de prueba y se le determina su humedad w de acuerdo a lo indicado en el inciso (002-E.02) de este Capítulo, anotando su valor en la hoja de registro; a continuación se divide la muestra en cinco (5) partes aproximadamente iguales, se coloca una de ellas en el cilindro de prueba apoyado sobre la base de concreto y se compacta con el pisón dándole cincuenta y seis (56) golpes, manteniendo constante la altura de caída y repitiendo uniformemente los golpes en la superficie de la capa. Se repite la operación con cada una de

las cuatro (4) porciones restantes de la muestra, para formar el espécimen de prueba.

- d1.d) Terminada la compactación se remueve el collarín y se verifica que el material no sobresalga del molde más de uno punto cinco (1.5) centímetros; de no ser así, la prueba deberá repetirse tomando una nueva muestra de material, corrigiendo el peso de la misma. Se enrasa el espécimen con la regla metálica depositando en una charola el material excedente y se rellenan con material fino las oquedades resultantes.
- d1.e) A continuación se retira el molde de la placa de base, se extrae el disco espaciador y se pesa el molde con el suelo compactado, anotando en la hoja de registro su valor W_i , en gramos.
- d1.f) Se coloca el papel filtro en la placa de base, se invierte el cilindro con el espécimen de tal manera que su fondo sea ahora la parte superior y se fija de nuevo en la placa de base; a continuación se coloca sobre el espécimen un papel filtro, la placa perforada y las placas de carga necesarias para producir sobre el espécimen una sobrecarga igual a la del pavimento más menos dos punto veinticinco (± 2.25) kilogramos de peso, pero no menor de cuatro punto cincuenta (4.50) kilogramos; en seguida se introduce al tanque de saturación durante noventa y seis (96) horas el molde que contiene el espécimen, colocándolo sobre bloques pequeños para permitir el libre acceso de

agua por la parte inferior y de manera que quede cubierto con el agua, con un tirante aproximado de dos (2) centímetros sobre el borde superior del molde.

d1.g) Se repite en las muestras de prueba restantes del grupo seleccionado, el procedimiento indicado en los sub-subpárrafos d1.a) a d1.f), subpárrafo d1), de este párrafo.

d1.h) A continuación se dejan saturar los especímenes y se les determina su expansión de acuerdo con lo indicado en el subpárrafo c3), párrafo c) del inciso (002-N.02) de este Capítulo.

d1.i) Transcurrido el período de saturación y determinada la expansión de cada espécimen, se efectúa la penetración siguiendo el procedimiento descrito en los subpárrafos c5) a c7), párrafo c), del inciso (002-N.02); excepto que el período de escurrimiento de los especímenes deberá ser de quince (15) minutos.

d1.j) Terminada la penetración de cada espécimen, se retira el molde del dispositivo de carga, se remueven las placas de carga, se desmonta la base, se saca el espécimen del molde y se le determina su humedad en los dos punto cinco (2.5) centímetros de la parte superior, de acuerdo con lo indicado en el inciso (002-E.02) de este Capítulo, anotando su valor en la hoja de registro.

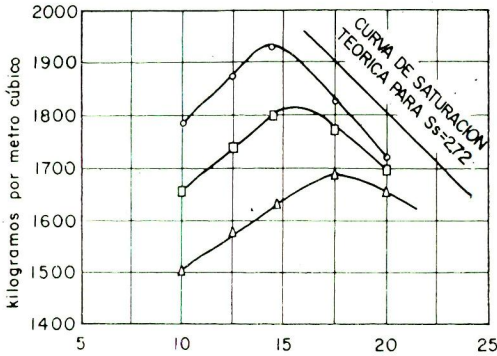
d2) Se les efectúa a los dos (2) grupos de muestras restantes el procedimiento descrito en el subpárrafo d1), de este párrafo, excepto que los especímenes del segun

do grupo se compactarán con veintiséis (26) golpes por capa y los del tercero con doce (12) golpes por capa.

- d3) En el caso de suelos francamente arenosos, solamente se utilizará un grupo de muestras de prueba y se elaborarán los especímenes mediante compactación con cincuenta y seis (56) golpes, con humedades de molde semejantes a las que se espera se presentarán en la obra.
- e) En esta prueba se calcula y se reporta lo siguiente:
 - e1) Se calcula el peso específico del material seco de cada espécimen, antes de su saturación y se construye la gráfica peso específico seco-humedad, Figura Núm. 72 A, siguiendo los pasos indicados en el párrafo d) del inciso (002-K.02). Se dibujará una curva para cada energía de compactación.
 - e2) Se calcula el valor relativo de soporte de cada espécimen, así como su expansión, siguiendo los pasos indicados en el párrafo e) del inciso (002-N.02) y se construye la gráfica valor relativo de soporte-humedad, dibujando en un sistema de ejes coordenados los puntos correspondientes a cada espécimen, tomando como ordenada el valor relativo de soporte y como abscisa la humedad de compactación respectiva. Se unen a continuación dichos puntos con una curva para cada energía de compactación, Fig. Núm. 72 B.
 - e3) A partir de las curvas peso volumétrico seco-humedad, Figura Núm. 72 A, y del valor relativo de soporte-humedad, Figura

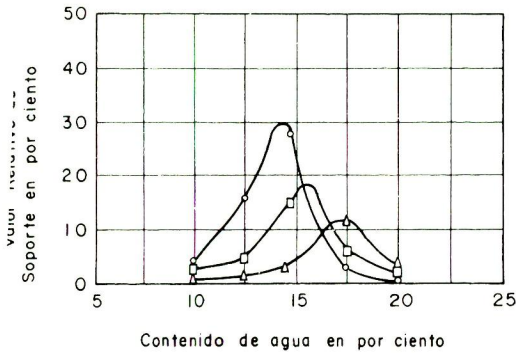
Núm. 72 B, se trazan las curvas de valor relativo de soporte-peso específico seco, para diferentes humedades de compactación, Figura Núm. 73, se dibujan los puntos correspondientes a una humedad determinada, ubicándolos con el valor relativo de soporte en el eje de las ordenadas y el peso específico seco respectivo en el eje de las abscisas; se unen dichos puntos y se dibuja la curva correspondiente a la humedad mencionada. En forma similar se dibujan otras curvas que cubran el intervalo de humedades que se tengan en la obra, o bien el que se requiera para fines de estudio.

- e4) Se reporta el peso específico seco, el por ciento de humedad después de la saturación y el por ciento de expansión de cada espécimen, acompañando el reporte con las gráficas, peso específico seco-humedad, valor relativo de soporte-humedad y valor relativo de soporte-peso específico seco.
- f) Estas gráficas y valores tienen diferentes aplicaciones, como pueden ser la elección del valor relativo de soporte de diseño para un material dado y la determinación del intervalo de pesos específicos y de humedades correspondientes para la compactación del material en la obra. Para lo anterior se procederá como se indica a continuación: la elección del valor relativo de soporte de diseño debe basarse en el peso específico y la humedad de compactación que anticipadamente puedan fijarse en la obra. Supóngase por ejemplo que se tiene un suelo arcilloso para el cual se han obtenido los resultados que se muestran en la Figura Núm.



A

- 56 Golpes por capa
- 26 Golpes por capa
- △ 12 Golpes por capa



B

URA NUM. 72. EJEMPLO DE CURVAS PESO ESPECIFICO SECO-HUMED.
Y VALOR RELATIVO DE SOPORTE—HUMEDAD

73 y que el contenido de agua que puede obtenerse en la obra varía entre trece y dieciséis por ciento (13 - 16%), y que tiene pesos específicos del material en estado seco que varían entre mil ochocientos cinco (1805) y mil novecientos (1900) kilogramos por metro cúbico, correspondiendo el primero al noventa y cinco por ciento (95%) de compactación y el segundo al cien por ciento (100%). En este caso la Figura Núm. 73, podría indicar que en la obra después de que las condiciones de humedad se hayan regularizado se tendría una variación del valor relativo de soporte entre once por ciento (11%) para un peso específico de mil ochocientos cinco (1805) kilogramos por metro cúbico y trece por ciento (13%) de humedad, y veintiséis por ciento (26%) para un peso específico de mil novecientos (1900) kilogramos por metro cúbico y quince por ciento (15%) de humedad. Para estas condiciones el valor relativo de soporte de diseño podría seleccionarse cercano al valor de doce por ciento (12%). Asimismo, la Figura Núm. 73, muestra que debe llevarse un control estricto de la humedad entre los límites establecidos de trece a dieciséis por ciento (13 a 16%) debido a que los valores relativos de soporte se abaten notablemente

el contenido de agua durante la compactación se incrementa arriba del límite máximo del intervalo establecido. En el ejemplo citado, si el contenido de agua aumenta dos por ciento (2%), es decir pasa de quince a diecisiete por ciento (15 a 17%), correspondiendo esta última a noventa y cinco por ciento (95%) de compactación, la gráfica in

dica que el valor relativo de soporte decrece de veintiséis (26) a ocho (8). Otro incremento de uno por ciento (1%) para el mismo grado de compactación podría dar como resultado un valor relativo de soporte igual a tres (3). Así como se hizo esta gráfica se puede construir otra que relacione la expansión, la humedad y la energía de compactación, estructurándola en forma similar a la de la Figura Núm. 73, dependiendo de la aplicación que se le quiera dar.

g) Al efectuarse esta prueba deben tenerse en cuenta las siguientes precauciones:

g1) No emplear material que haya sido sometido a algún procedimiento de compactación de laboratorio.

g2) Las capas que se compactan para elaborar el espécimen deberán ser prácticamente iguales, para asegurar la uniformidad en la compactación.

g3) Que durante la compactación los golpes del pisón se repartan uniformemente en toda la superficie del espécimen, manteniendo la guía en posición vertical, asegurándose que la caída del martillo sea libre y que la superficie del pisón se mantenga limpia.

002-N.06 En este inciso se describen los procedimientos para determinar el valor de soporte por medio de la prueba de placa.

a) Para la ejecución de esta prueba deberá tomarse en cuenta lo siguiente:

a1) Se efectúa en la obra, sobre la capa en estudio y tiene por objeto evaluar su resistencia, medida por el valor de soporte, lo cual permite diseñar el pavimento o

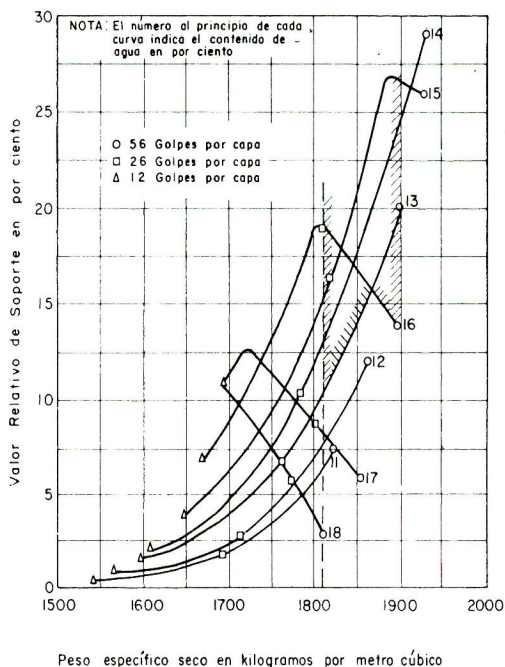


FIGURA NUM. 73. EJEMPLO DE CURVAS PESO ESPECIFICO SECO-VALOR RELATIVO SOPORTE PARA DIFERENTES CONTENIDOS DE AGUA

bien verificar la capacidad de carga de su estructura..

- a2) El valor de soporte corresponde a la carga necesaria para producir una deflexión relativamente permanente, de cinco punto uno (5.1) milímetros en el caso de carreteras y de doce punto cinco (12.5) milímetros cuando se trata de pistas para aeronaves, consistiendo el procedimiento de prueba en aplicar, a través de un conjunto de placas metálicas y utilizando un (1) gato hidráulico debidamente apoyado y lastrado, tres (3) cargas correspondientes a tres (3) deflexiones previamente establecidas, fatigando el suelo hasta con diez (10) aplicaciones de carga para cada deflexión; con estos datos se determina la curva carga-deformación, de la cual se obtiene el valor de soporte respectivo.
- a3) Para que los datos de valor de soporte sean representativos de la capa estudiada se requiere que el suelo de la misma presente condiciones de humedad y acomodo similares a las del equilibrio que se establezca durante el funcionamiento de la obra. Dichas condiciones de equilibrio dependerán principalmente del medio ambiente, del drenaje que se tenga y de los efectos del tránsito.
- b) El equipo y materiales necesarios para efectuar esta prueba son los que se indican a continuación:
- Gato hidráulico con capacidad no menor de veinte (20) toneladas, con el que se puede aplicar y retirar carga por incrementos, que tenga los dispositivos adecuados para

registrar cargas con una aproximación de cincuenta (50) kilogramos.

Elemento de reacción, que permita la aplicación de cargas del orden de diez (10) toneladas, Figura Núm. 74, para pruebas en carreteras o bien de veinte (20) toneladas para el caso de pistas para aeronaves.

Placas circulares de acero, con espesor mínimo de veinticinco punto cuatro (25.4) milímetros y diámetros de quince punto dos (15.2) centímetros, veinte punto tres - (20.3) centímetros, veinticinco punto cuatro (25.4) centímetros, treinta punto cinco (30.5) centímetros, cuarenta y cinco punto siete (45.7) centímetros, cincuenta y cinco punto nueve (55.9) centímetros, sesenta y seis punto cero (66.0) centímetros y setenta y seis punto dos (76.2) centímetros, para el caso de pruebas en aeropuertos, y para carreteras solamente se usan las cuatro (4) placas mencionadas en primer término.

Dos (2) o más extensómetros que tengan una aproximación de cero punto cero un (0.01) milímetro con aditamentos de sujeción y una (1) viga o barra para montarlos, de cinco punto cinco (5.5) metros de longitud, que puede ser un tubo de seis punto treinta y cinco (6.35) centímetros de diámetro, o bien, un ángulo de siete punto sesenta - (7.60) centímetros por siete punto sesenta (7.60) centímetros, por cero punto seiscientos treinta y cinco (0.635) centímetros.

Cronómetro.

Nivel de burbuja.

Yeso para modelar.

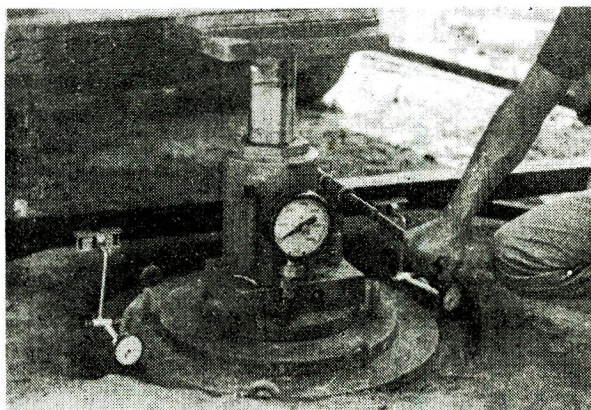


Figura Núm. 74. Equipo y elemento de reacción instalados para la prueba de placa.

Arena fina.

- c) La prueba se efectúa en la forma siguiente:
- c1) Se prepara el sitio de prueba, emparejando convenientemente la superficie de la capa en estudio en el lugar seleccionado. En el caso de que sobre dicha capa haya pavimento, revestimiento o algún otro material, se procederá previamente a descubrir la superficie de prueba, haciendo una excavación con el diámetro mínimo indispensable para acomodar la primera placa que se vaya a colocar, si se quiere tomar en cuenta la sobrecarga del referido pavimento o revestimiento; en caso contrario, el diámetro de la excavación deberá ser mayor de uno punto cinco (1.5) veces

el diámetro de la primera placa que se va a colocar directamente sobre la capa en estudio.

- c2) Se afina la superficie de prueba con una mezcla de arena fina y yeso en proporción aproximada de sesenta cuarenta (60-40) en peso; o bien, utilizando solamente uno de dichos materiales en la cantidad mínima necesaria, para dar apoyo uniforme a las placas.
- c3) A continuación se colocan las placas necesarias, de mayor a menor diámetro, una sobre otra y en forma piramidal, debidamente centradas y niveladas a partir de la de treinta punto cinco (30.5) centímetros en el caso de carreteras y de la de setenta y seis punto dos (76.2) centímetros, cuando se trate de pistas para aeronaves.
- c4) Se colocan dos (2) o tres (3) extensómetros sobre la placa de mayor diámetro, a dos punto cincuenta (2.50) centímetros de su orilla, diametralmente opuestos cuando sean dos (2), y a ciento veinte (120) grados uno de otro cuando sean tres (3), apoyando firmemente los extremos de la barra en que se sujetan los extensómetros, sobre lugares relativamente retirados de la zona de prueba. Se pueden colocar otros tres (3) extensómetros sobre la superficie de la capa en estudio, a una distancia horizontal de la orilla de la placa inferior de cero punto cinco (0.5), uno punto cero (1.0) y uno punto cinco (1.5), veces, el diámetro de dicha placa; el empleo de estos tres (3) últimos extensóme-

tros es opcional y sirven para registrar deformaciones fuera de la zona normal de influencia.

- c5) Se instalan el gato y el elemento de reacción lastrado para aplicar carga sobre las placas, tal como se muestra en la Figura Núm. 74.
- c6) A continuación se aplican dos (2) cargas previas, la primera para producir un asentamiento comprendido entre cero punto veinticinco (0.25) milímetros y cero punto cincuenta y un (0.51) milímetros, asentamiento que se medirá con uno de los extensómetros colocados sobre la placa, debiéndose registrar la carga necesaria para producirlo, como carga inicial de reacomodo; a continuación se descarga el gato y se da la segunda aplicación que corresponderá a la mitad de la carga inicial de reacomodo y nuevamente se libera la presión del gato.
- c7) Se ponen en cero los extensómetros y haciendo funcionar el cronómetro, se aplica la carga necesaria para producir un asentamiento aproximado de la placa de uno punto cero (1.0) milímetro, se registra dicha carga y se sostiene hasta que la velocidad de la deformación se mantenga durante tres (3) minutos consecutivos, en valores no mayores de cero punto cero tres (0.03) milímetros por minuto; para lo anterior, durante el tiempo de aplicación de la carga, se registran, cada minuto, las lecturas de los extensómetros colocados sobre la placa; una vez alcanzada la velocidad de referencia, se baja a ce

ro la presión del gato. Si se tienen instalados extensómetros fuera de la placa se registran sus lecturas inmediatamente antes de aplicar la carga y después de liberar ésta.

- c8) Se deja que ocurra la recuperación del terreno hasta que la velocidad de ésta sea menor a cero punto cero tres (0.03) milímetros, por minuto; ocurrido esto, se aplica nuevamente la última carga registrada, sosteniéndola hasta que la velocidad de la deformación tenga el valor de cero punto cero tres (0.03) milímetros por minuto durante tres (3) minutos, procediéndose entonces a remover la carga y a registrar las lecturas de los extensómetros de acuerdo con lo que se indicó en el subpárrafo c7) de este párrafo. Este último procedimiento de carga y descarga, se aplica varias veces más hasta completar en total seis (6) repeticiones, en estudios especiales este número de repeticiones de la carga de referencia es de diez (10).
- c9) Una vez efectuado lo anterior, se repite el proceso señalado en los subpárrafos c7) y c8) de este párrafo, primero para un asentamiento de la placa de cinco punto uno (5.1) milímetros y luego para diez punto dos (10.2) milímetros.
- c10) Como datos complementarios se registran las condiciones climáticas que se tengan en la región, la temperatura ambiente cada media hora, así como cualquier irregularidad que se presente durante la ejecución de la prueba y algún otro dato de interés, utilizando para todo esto una for

ma de registro como la que se muestra en la Figura Núm. 75.

d) Para el cálculo y reporte de los resultados de esta prueba, se procederá de acuerdo con lo siguiente:

d1) Se elabora a escala aritmética la gráfica tiempo deformación de cada aplicación de carga y se determina para cada una de esas aplicaciones, el punto que corresponde a una velocidad de asentamiento de cero punto cero tres (0.03) milímetros por minuto, al cual se denomina punto final de deformación. Para el objeto se dibuja en la gráfica mencionada la tangente que tenga una inclinación correspondiente a dicha velocidad, y que es paralela a la línea de relación. La deformación buscada estará representada por la ordenada correspondiente del punto de contacto, Figura Núm. 75.

d2) Se corrigen los valores de las cargas registradas sumándoles la carga muerta, la que en general corresponderá al peso de las placas y del gato, anotándose la carga corregida en la hoja de registro.

d3) Se elabora la gráfica cargas corregidas-deformaciones, utilizando los datos del punto inicial con deformación cero (0) y los de las repeticiones número cinco (5) de cada una de las tres (3) diferentes cargas aplicadas. La ordenada del punto con deformación cero (0) es la suma de la carga muerta más la mitad de la carga inicial de reacomodo. La curva así dibujada, normalmente cruzará el eje de las deforma

ciones atrás del origen, debido al efecto de las cargas iniciales de reacomodo, por lo que, en dicho caso, se corregirán cada uno de los valores de la deformación correspondiente al punto final, sumándoles el valor absoluto de la deformación negativa "C" obtenido de la gráfica para la carga cero. Lo anterior se ilustra en la Figura Núm. 76a, elaborada con los datos del ejemplo que aparecen en la Tabla Núm. III.

TABLA III - DATOS DE EJEMPLO DE PRUEBA DE PLACA.

Carga en Kg			Deformaciones registradas para cada una de las aplicaciones de las cargas, mm.					
Aplicada	Muerta	Corregida	1	2	3	4	5	6
4218	215	4433	1.12	1.30	1.36	1.43	1.47	1.50
10115	215	10330	4.02	4.51	4.82	5.01	5.18	5.33
14334	215	14549	8.09	9.36	10.36	11.10	11.59	12.04
			Deformaciones corregidas					
			Valor de la corrección + 0.15 mm.					
		4433	1.27	1.45	1.51	1.58	1.62	1.65
		10330	4.17	4.66	4.97	5.16	5.33	5.48
		14549	8.24	9.51	10.51	11.25	11.74	12.19

- d4) Se traza en papel semilogarítmico, para cada una de las tres (3) cargas, la gráfica Deformación corregida-Número de repetición de carga, dibujando en la escala logarítmica el número de repetición de carga; las gráficas obtenidas corresponderán a líneas rectas, Figura Núm. 76b.
- d5) Con las deformaciones corregidas correspondientes a diez (10) repeticiones, determinadas por extrapolación para cada una (1) de las tres (3) cargas en las gráficas

OBRA : AEROPUERTO LOMA BONITA OAX.

ENSAYE Núm.: 1225

TRAMO : CALLE DE RODAJE

FECHA : 17 DE MAYO DE 1985.

km : 0 + 180

LABORATORISTA : JORGE GARCIA M.

ORIGEN : PLATAFORMA

CAPA : SUB-RASANTE

ESPESOR, cm : 50

CARGA Núm.: 3

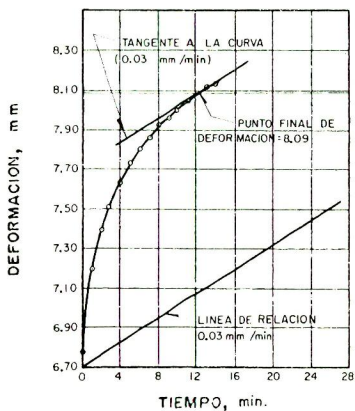
MATERIAL : CONGLOMERADO ARCILLOSO

REPETICION Núm.: 1

ESPESOR DE PAVIMENTO, cm :

HOJA Núm.:

TIEMPO		TEMP. (CADA 30 MIN)	EXTENSIOMETROS, LECTURA EN mm					OBSERVACIONES
hr.	min.		1	2	3	PROM. 1-2-3		
11	04		7.85	5.74		6.79		
	05		8.26	6.12		7.19		
	06		8.49	6.30		7.39		
	07		8.61	6.40		7.50		
	08		8.76	6.51		7.63		
	09		8.86	6.59		7.72		
	10		8.91	6.64		7.77		
	11		9.02	6.72		7.87		
	12		9.07	6.76		7.91		
	13		9.13	6.81		7.97		
	14		9.18	6.86		8.02		
	15		9.22	6.90		8.06		
	16		9.25	6.93		8.09		
	17		9.27	6.95		8.11		
	18		9.29	6.97		8.13		



DIAMETRO DE LA PLACA DE CARGA, cm :

76.20

CARGA MUERTA, kg :

215

CARGA INICIAL DE REACOMODO, kg :

1360

CARGA APLICADA SIN CORREGIR, kg :

14 334

CARGA CORREGIDA, kg :

14 549

DEFORMACION LEIDA PUNTO FINAL, mm :

8.09

DEFORMACION CORREGIDA, mm :

8.24

FIGURA NUM. 75. HOJA DE REGISTRO PARA LA PRUEBA DE LA PLACA.

OBRA: AEROPUERTO LOMA BONITA, OAX. ENSAYE Num.: 1225
 TRAMO: CALLE DE ROLDANE FECHA: 17 DE MAYO DE 1976
 km: 0+180 LABORATORISTA: JORGE GARCIA M.
 ORIGEN: PLATAFORMA DIAMETRO DE LA PLACA, cm: 76.20
 CAPA: SUB-BASE CALCULO: EUBEN SALAZAR G.
 ESPESOR DE CAPA, cm: 50 ESPESOR DE PAVIMENTO, cm: _____

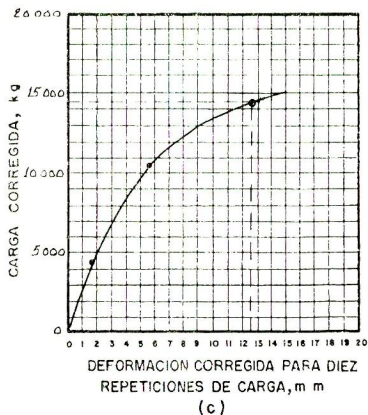
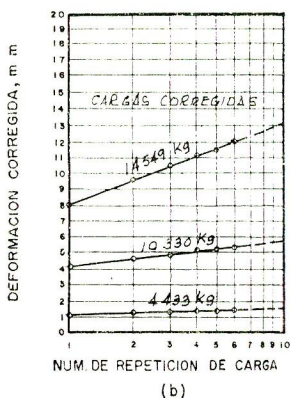
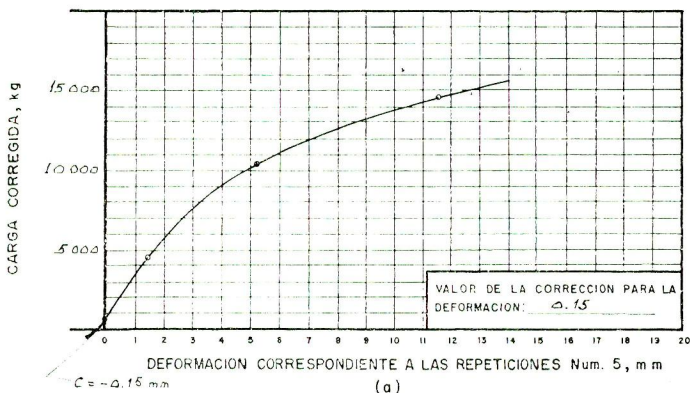


FIGURA NUM. 76. HOJA DE CALCULO PARA LA PRUEBA DE PLACA.

VALOR SOPORTE: 14 500 kg.

ficas elaboradas de acuerdo con lo indicado en el subpárrafo d4) de este párrafo, se dibuía la gráfica Carga corregida-Deformación corregida, Figura Núm. 76c.

d6) Se registra y reporta el valor soporte de terminado con la prueba de placa, que corresponde a la carga para una deformación de cinco punto uno (5.1) milímetros en el caso de carreteras y de doce punto cinco (12.5) milímetros en el caso de pistas para aeronaves; dichas cargas se obtendrán de la gráfica elaborada de acuerdo con lo indicado en el subpárrafo d5) de este párrafo y se expresan en kilogramos.

e) Al efectuar esta prueba deberá tenerse la precaución de utilizar la menor cantidad de material para afinar la nivelación de la superficie de prueba, pero suficiente para garantizar el correcto apoyo y nivelación de las placas y el gato.

002-N.07 En este inciso se describe el procedimiento para determinar el módulo de reacción, k , de los suelos por medio de pruebas de placa con un solo ciclo de aplicación de la carga.

a) Para la ejecución de esta prueba se tomará en cuenta lo siguiente:

a1) Se lleva a cabo sobre la capa subrasante, sobre la sub-base de pavimento rígido o bien, sobre las capas de los pavimentos flexibles, con objeto de conocer ciertas características de resistencia de la estructura de que forman parte dichas capas; el resultado de esta prueba se utiliza para la evaluación y diseño de pavimentos

rígidos o flexibles.

- a2) La prueba consiste en aplicar una presión a la capa en estudio, utilizando para ello un equipo de carga que se apoya sobre una placa circular de dimensiones especificadas, y medir las deformaciones verticales resultantes, producidas en el suelo por la aplicación de la carga; la relación entre la presión aplicada y la deformación vertical promedio que produce en el suelo, se designa como módulo de reacción k , se expresa en kilogramos sobre centímetros cúbicos y corresponde a las condiciones promedio del área de suelo bajo la placa y su respectiva zona de influencia.
- a3) Para que el módulo de reacción pueda ser utilizado en la evaluación y diseño de pavimentos, se requiere que la capa de material en estudio presente condiciones de humedad y acomodo similares a las que se estima prevalecerán durante el funcionamiento de la obra. En caso de hacerse la prueba en suelos cohesivos cuyas condiciones de humedad no corresponden a los períodos críticos, los valores de k obtenidos serán mayores que los reales y por tanto deberán ajustarse.
- b) El equipo y materiales necesarios para efectuar esta prueba son los que se indican a continuación:
- Gato hidráulico de veinte (20) toneladas de capacidad, que permita aplicar carga por incrementos y con dispositivos adecuados para registrarlas, con aproximación de cincuenta (50) kilogramos.

Contrapeso o elemento de reacción, que permita la aplicación de cargas de diez a veinte (10 - 20) toneladas.

Placas circulares de acero, con espesor mínimo de veinticinco punto cuatro (25.4) milímetros y diámetros de setenta y seis punto dos (76.2) centímetros, sesenta y seis punto cero (66.0) centímetros, cincuenta y cinco punto nueve (55.9) centímetros, cuarenta y cinco punto siete (45.7) centímetros y treinta punto cinco (30.5) centímetros.

Seis (6) extensómetros con aproximación de cero punto cero un (0.01) milímetro con adjuntamientos de sujeción y una (1) viga o barra para montarlos, de cinco punto cinco (5.5) metros de longitud.

Cronómetro.

Nivel de burbuja.

Yeso para modelar.

Arena fina.

c) La prueba se efectúa en la forma siguiente:

c1) Se prepara el sitio de prueba de acuerdo con lo descrito en los subpárrafos c1) y c2), párrafo c) del inciso (002-N.06), excepto que cuando en la prueba se requiera evaluar la resistencia incluyendo capas del pavimento, la preparación se hará en el nivel superior de la capa seleccionada.

c2) A continuación se coloca la placa de setenta y seis punto dos (76.2) centímetros de diámetro; en seguida se colocan sobre ésta, de mayor a menor diámetro una sobre

- otra y en forma piramidal, las placas con diámetros de sesenta y seis punto cero (66.0) centímetros, cincuenta y cinco punto nueve (55.9) centímetros, cuarenta y cinco punto siete (45.7) centímetros y la de treinta punto cinco (30.5) centímetros.
- c3) Se colocan los extensómetros de acuerdo con lo descrito en el subpárrafo c4), párrafo c), del inciso (002-N.06).
- c4) Se instalan el gato y el elemento de reacción lastrado para aplicar carga sobre las placas, en forma similar a la ilustrada en la Figura Núm. 74, mencionada en el inciso (002-N.06)
- c5) Se aplica una carga de reacomodo de trescientos veintiun (321) kilogramos, para el caso de pavimentos con espesores menores de treinta y ocho (38) centímetros, y de seiscientos cuarenta y dos (642) kilogramos para el caso de pavimentos con espesores considerados de treinta y ocho (38) centímetros o más. Se sostiene esta carga de reacomodo hasta que prácticamente no se aprecian cambios en las lecturas de los extensómetros que registran la deformación del suelo y en este momento se hacen las lecturas en los extensómetros, registrándose como lecturas iniciales.
- c6) A continuación y sin retirar la carga de reacomodo se aplican dos (2) incrementos de carga, el primero para alcanzar mil seiscientos tres (1603) kilogramos y el segundo de mil seiscientos tres (1603) kilogramos, sosteniendo en cada incremento la carga total hasta que la velocidad de deformación sea imperceptible en el exten

sómetro; al finalizar cada aplicación de carga se registran las lecturas de los extensómetros.

- c7) Una vez aplicado el segundo incremento, es decir, al registrarse una carga de tres mil doscientos seis (3206) kilogramos, que corresponde a una presión de cero punto siete (0.7) kilogramos sobre centímetro cuadrado, se determina el promedio de las deformaciones finales registradas en los extensómetros y con este valor se obtiene, por medio de la fórmula descrita en el subpárrafo d3), párrafo d) de este inciso, el valor del módulo de reacción; si éste resulta menor de cinco punto seis (5.6) kilogramos sobre centímetro cúbico se habrá terminado la prueba. Si el módulo de reacción obtenido es igual o mayor que el valor últimamente citado, se dan otros cuatro (4) incrementos de carga de mil seiscientos tres (1603) kilogramos cada uno hasta tener una carga total de nueve mil seiscientos dieciocho (9618) kilogramos, cuidando que en cada incremento permanezca aplicada la carga hasta que la velocidad de deformación sea imperceptible en los extensómetros, que será el momento en que se registren las lecturas de los mismos.
- d) Para el cálculo y reporte de los resultados de esta prueba se procederá de acuerdo con lo siguiente:
- d1) Se calculan las presiones correspondientes a cada una de las cargas aplicadas, dividiendo cada una de ellas entre el área de la placa apoyada en la superficie

de prueba, anotando los resultados en kilogramos sobre centímetro cuadrado.

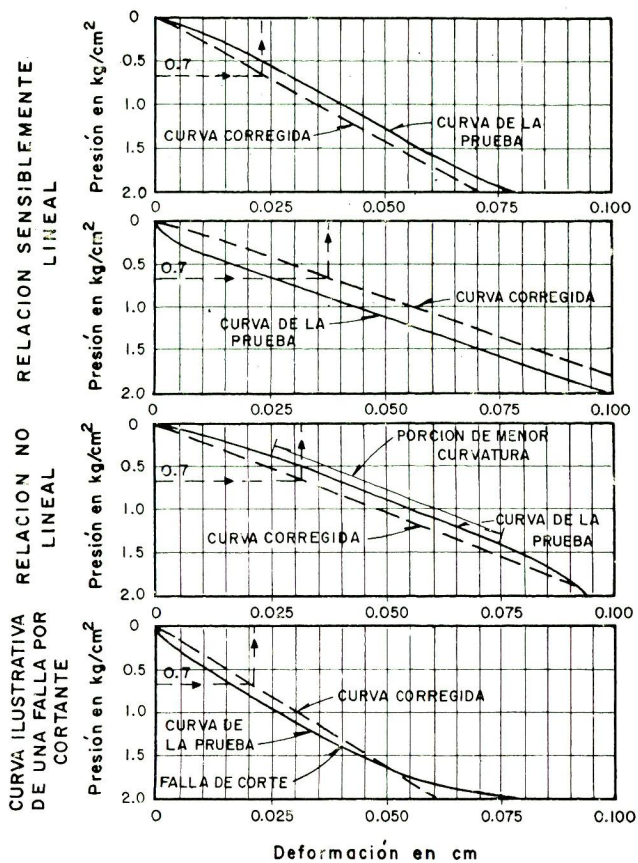
- d2) Cuando la carga total aplicada sea mayor de tres mil doscientos seis (3206) kilogramos, se construye la gráfica presión-deformación, anotando en el eje de las ordenadas las presiones y en el de las abscisas las deformaciones promedio correspondientes. Si la gráfica presión-deformación es una recta que pasa por el origen de los ejes coordenados, quiere decir que las referencias al iniciarse la prueba son adecuadas y por tanto la curva puede utilizarse sin efectuarle correcciones. De lo contrario, si la gráfica no reúne los requisitos mencionados, deberá corregirse trazando una recta que pase por el origen de los ejes coordenados y cuya pendiente sea el promedio del tramo de menor curvatura que contiene cuando menos tres (3) puntos de la gráfica, Figura Núm. 77.

- d3) Se calcula y reporta el módulo de reacción aplicando la siguiente fórmula:

$$k = \frac{p}{\Delta} = \frac{0.7}{\Delta}$$

En donde:

- k es el módulo de reacción expresado en kilogramos sobre centímetro cúbico.
- p es la presión de cero punto siete (0.7) kilogramos sobre centímetro cuadrado, aplicada al terreno y que corresponde a la carga de tres mil doscientos seis (3206) kilogramos.
- Δ es el promedio de las deformaciones registradas al aplicar la presión de



Nota: La curva corregida puede quedar -
arriba o abajo de la curva de la
prueba.

FIGURA NUM. 77. CORRECCIONES A LA CURVA PRESION-DEFORMACION
PARA DETERMINAR EL MODULO DE REACCION.

cero punto siete (0.7) kilogramos sobre centímetro cuadrado, en centímetros. Cuando la carga total aplicada es mayor de tres mil doscientos seis (3206) kilogramos, este dato se obtiene de la gráfica presión-deformación correspondiente, la que en general requiere corrección, como se ilustra en la Figura Núm. 77.

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

e1) Que esté desnivelada la placa de apoyo al iniciar la aplicación de las cargas al terreno.

e2) Que al seleccionar el sitio de prueba no se tomen en cuenta las condiciones del suelo fijadas para la ejecución de la misma, de acuerdo con el estudio que se efectúa.

002-N.08 En este inciso se describe el método para determinar el valor R de estabilidad en suelos compactados por el procedimiento de amasado. Con este método se evalúa fundamentalmente la resistencia de los suelos sin estabilizar o estabilizados, basándose en la oposición a deformarse lateralmente bajo la acción de cargas verticales, que presentan especímenes de dichos suelos procesados para reproducir condiciones desfavorables que puedan ocurrir en la obra. Los valores determinados en esta prueba nos permiten juzgar el comportamiento de los suelos y se utilizan en el diseño de pavimentos. Para obtener el valor R de estabilidad es necesario realizar en el orden que se indica, los siguientes pasos: preparación especial de la muestra, elaboración del espécimen, determinación de la presión de exudación, obtención de pesos específicos y determinación de la presión de expansión; todo ello con objeto de verificar

que los especímenes cumplen con ciertos requisitos previos a la determinación de R.

a) Para llevar a cabo la preparación de la muestra se tomará en cuenta lo que se indica a continuación:

a1) El equipo necesario es el siguiente:

Balanza con capacidad de veinte (20) kilogramos y cinco (5) gramos de aproximación.

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

Charolas rectangulares de lámina.

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

Cucharas de albañil.

Mallas Núms.: 25.0, 19.0, 9.5 y 4.75.

a2) En el caso de suelos sin estabilizar, la preparación de la muestra se efectúa como sigue:

a2.a) De una muestra obtenida y preparada como se indica en las cláusulas (002-B) y (002-D), se toman por cuarteo veinte (20) kilogramos aproximadamente de material, que en general serán suficientes para efectuar pruebas por duplicado.

a2.b) Se criba la muestra por la malla Núm. 19.0 y se determina el porcentaje retenido en dicha malla; si este valor es igual o menor de veinticinco por ciento (25%), se elimina el retenido; y si es mayor de veinticinco por ciento (25%), se criba por la malla Núm. 25.0 y se elimina el retenido en ella.

a2.c) Se separan mediante cribado las fracciones de la muestra comprendidas entre las mallas Núms.: 25.0 a 19.0, 19.0 a 9.5, 9.5 a 4.75 y la que pasa la malla Núm. 4.75.

a2.d) Se pesan las cantidades necesarias de las fracciones mencionadas para obtener ocho (8) especímenes de mil doscientos (1200) gramos, cuya granulometría será la propia del suelo o la que convenga fijar, de acuerdo con las características del material y del uso que se le pretenda dar. En el caso de que se requiera estudiar mezclas de suelos, se determinará dicha granulometría, de acuerdo con lo indicado en el inciso (012-C.02), debiendo en todos los casos manipularse los agregados de acuerdo con las fracciones de suelo en que fueron clasificados.

A continuación se muestran unos ejemplos de cálculo de los pesos para formar especímenes de mil doscientos (1200) gramos, utilizando un material cuya granulometría de estudio ya fue definida.

Ejemplo Núm. 1.

Se tiene la muestra de un suelo, del cual se requiere obtener especímenes reproduciendo la siguiente granulometría, que fue la seleccionada.

<u>Malla Núm.</u>	<u>Por ciento que pasa</u>
19.0	100
9.5	89
4.75	78

Se determinan los pesos de cada fracción para obtener una muestra de prueba de

mil doscientos (1200) gramos, como se indica en el cuadro siguiente:

Fracción de suelo Mallas	Por ciento en peso, de cada fracción	Peso de cada fracción, en gramos
Núm. 19.0 a Núm. 9.5	$100 - 89 = 11$	$0.11 \times 1200 = 132$
Núm. 9.5 a Núm. 4.75	$89 - 78 = 11$	$0.11 \times 1200 = 132$
Pasa Núm. 4.75	$\frac{78}{100}$	$0.78 \times 1200 = \frac{936}{1200}$

Ejemplo Núm. 2.

Se tienen dos suelos para integrar una mezcla, cuyas granulometrías originales y proporciones respectivas, se indican en el siguiente cuadro:

Malla Núm.	Granulometría original, por ciento que pasa		Porcentajes que pasan para la mezcla propuesta de 80% - 20%		Por ciento que pasa combinado	Por ciento que pasa combinado y corregido
	Suelo 1	Suelo 2	Suelo 1	Suelo 2		
25.0	100	100	80	20	100	---
19.0	90	100	72	20	92	100
9.5	80	95	64	19	83	90
4.75	70	90	56	18	74	80

La granulometría indicada en la última columna es la obtenida para los materiales combinados, considerando la eliminación de tamaños retenidos en la malla Núm. 19.0 y se calcula utilizando los datos de la columna "Por ciento que pasa combinado", en la forma siguiente:

$$\frac{100}{92} \times 83 = 90\% \quad \frac{100}{92} \times 74 = 80\%$$

La dosificación anterior se calcula y verifica como se indica en el cuadro si

guiente:

Malla Núm.	Suelo 1	Suelo 2	Verificación de la mezcla
19.0	$\frac{100}{92} \times 72 = 78\%$	$\frac{100}{92} \times 20 = 22\%$	$78 + 22 = 100$
9.5	$\frac{100}{92} \times 64 = 70\%$	$\frac{100}{92} \times 19 = 20\%$	$70 + 20 = 90$
4.75	$\frac{100}{92} \times 56 = 61\%$	$\frac{100}{92} \times 18 = 19\%$	$61 + 19 = 80$

A continuación se calculan los porcentajes retenidos parciales y los pesos de las fracciones que se necesitan para integrar los especímenes de mil doscientos (1200) gramos, en la forma que aparece en el cuadro siguiente:

Fracción de suelo Mallas	Fracciones del suelo Núm. 1, en gramos	Fracciones del suelo Núm. 2, en gramos
Núm. 19.0 a Núm. 9.5	$(78-70) \times \frac{1200}{100} = 96$	$(22-20) \times \frac{1200}{100} = 24$
Núm. 9.5 a Núm. 4.75	$(70-61) \times \frac{1200}{100} = 108$	$(20-19) \times \frac{1200}{100} = 12$
Pasa Núm. 4.75	$(61-0) \times \frac{1200}{100} = \frac{732}{936}$	$(19-0) \times \frac{1200}{100} = \frac{228}{264}$
Total: $936 + 264 = 1200$ gramos.		

a2.e) Una vez integradas las muestras para la elaboración de especímenes, se coloca cada una de éstas en forma sucesiva, en su respectiva charola de mezclado, cubriéndolas debidamente.

a2.f) A continuación, se agrega agua a cada una de las muestras para tener en ellas de un medio a dos tercios ($1/2$ a $2/3$) de la humedad estimada para saturar el material y cumplir con los requisitos de la prueba de exudación, que se describe en el párrafo c) de este inciso. Esta operación deberá llevarse a cabo mezclando el

material en la charola, haciendo girar ésta en forma horizontal bajo el rociado de un aspersor de agua. Una vez que se ha adicionado el agua necesaria se continúa el mezclado durante un (1) minuto; se registra la cantidad de agua agregada, en centímetros cúbicos y se colocan las muestras dentro de los recipientes debidamente identificados. Se tapan y se dejan en reposo durante doce (12) horas aproximadamente, pudiendo permanecer así un tiempo mayor, siempre que se protejan las muestras para evitar que pierdan humedad.

- a3) En el caso de suelos estabilizados con cal hidratada o cemento Portland, la preparación de la muestra se llevará a cabo como se indica en el subpárrafo a2) de este párrafo, excepto que el material estabilizante se adicionará y mezclará a las muestras de prueba respectivas, antes de incorporarles el agua; por otra parte, la mezcla húmeda ya preparada con estabilizante, se dejará en reposo de dieciséis (16) a veinticuatro (24) horas. Cuando se trata de muestras obtenidas en la obra, éstas se tomarán inmediatamente después de terminado el mezclado y se enviarán al laboratorio en recipientes herméticos llenos en toda su capacidad. Para llevar a cabo el ensaye de estas muestras se les eliminará el retenido en la malla Núm. 19.0, no se les adicionará agua para saturación y permanecerán en sus recipientes herméticos hasta iniciar la compactación de los especímenes dentro de un lapso de dieciséis a veinticuatro (16 - 24) horas

después de mezclado en la obra.

b) La elaboración de los especímenes para las determinaciones de esta prueba, se llevará a cabo utilizando muestras preparadas como se describe en el párrafo a) de este Inciso, las cuales se sujetarán a ciertos requisitos de humedad que se definen elaborando un espécimen preliminar, el cual se compacta como se indica en el subpárrafo b3) de este párrafo.

b1) Los especímenes de prueba cumplirán con los requisitos marcados a continuación, para lo cual se ajustan en peso y contenido de agua, al hacer las verificaciones en los respectivos procedimientos de prueba:

b1.a) Su altura será de sesenta y tres punto cinco más menos cinco (63.5 ± 5) milímetros.

b1.b) Del grupo de especímenes de prueba, cuando menos uno (1) de ellos presentará presión de exudación superior a veintiuno punto uno (21.1) kilogramos por centímetro cuadrado y otro espécimen tendrá presión de exudación inferior a dicho valor.

b1.c) Todos los especímenes tendrán humedades adecuadas para exudar a presiones comprendidas entre siete y cincuenta y seis (7 - 56) kilogramos por centímetro cuadrado; en el caso de suelos poco permeables que por su naturaleza pueden tener presiones de expansión muy altas, se compactan con humedades elevadas para lograr presiones cercanas al límite inferior mencionado.

- b2) El equipo y materiales necesarios para elaborar los especímenes son los siguientes:

Compactador mecánico por amasado, capaz de aplicar a la base del pisón compactador mostrado en la Figura Núm. 78, una presión de contacto uniforme de veinticuatro punto seis más menos uno punto uno (24.6 ± 1.1) kilogramos por centímetro cuadrado, y con dispositivo para mantener esta presión al cambiar de altura los especímenes; en el compactador no deberán producirse golpeteos o impactos durante su operación. El compactador deberá estar calibrado para que el tiempo de avance en la aplicación de la presión de dos punto cinco a veintiuno punto uno (2.5 a 21.1) kilogramos por centímetro cuadrado, no sea menor de cero punto cero siete (0.07) segundos ni mayor de cero punto veinte (0.20) segundos; también estará calibrado para que el tiempo de permanencia de la zapata aplicando la presión de veintiuno punto uno (21.1) kilogramos por centímetro cuadrado, no sea menor de cero punto quince (0.15) segundos ni mayor de cero punto cuarenta y cinco (0.45) segundos y para que el tiempo de remoción de la zapata no sea mayor de cero punto sesenta (0.60) segundos. El compactador deberá tener un contador para controlar el número de aplicaciones del pisón. Deberá incluir además, una tornamesa con sistema de sujeción para el molde; esta tornamesa deberá girar al compactar el espécimen de tal manera que el espaciamiento entre las aplicaciones sucesivas del pisón al espécimen, sea

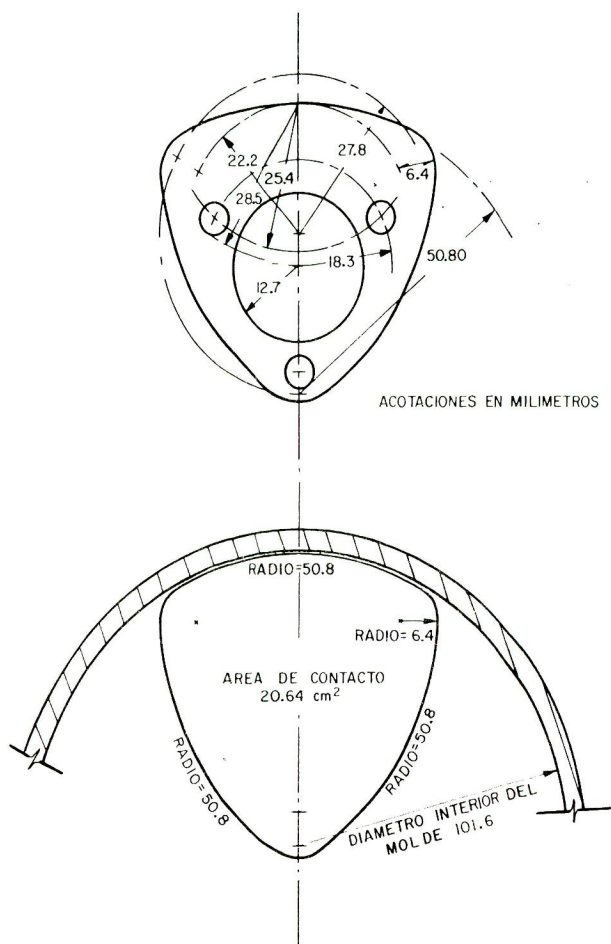


FIGURA NUM. 78. BASE DEL PISON DEL COMPACTADOR MECANICO.

el necesario para tener de cinco (5) a siete (7) aplicaciones del pisón, por revolución de la tornamesa. El sistema de sujeción será capaz de retener firmemente al molde, durante la compactación de los especímenes. La base del sistema de sujeción del molde tendrá una placa metálica circular de cien punto ocho (100.8) milímetros de diámetro y doce punto siete (12.7) milímetros de espesor; en la parte superior de dicha placa tendrá pegado un disco de hule con diámetro de cien punto cero (100.0) milímetros y espesor de tres punto dos (3.2) milímetros. La base será parte integral del dispositivo de sujeción del molde. El compactador incluirá también extensión cónica para los moldes y una canaleta que se utilizará para verter el material al molde en veinte (20) partes iguales, Figura Núm. 79; esta canaleta podrá ser de sección transversal circular, con una área aproximada de treinta y nueve (39) centímetros cuadrados y de cincuenta (50) centímetros de longitud. Dos (2) calzas de acero de tres (3) milímetros de espesor.

Disco de hule de cien punto cero (100.0) milímetros de diámetro por tres (3) milímetros de espesor y dureza Shore de sesenta más menos quince (60 ± 15) de la escala A.

Pisón manual para afinar la cara de los especímenes, con superficie circular de apisonado y diámetro comprendido entre cuarenta (40) y cincuenta (50) milímetros. Cinco (5) moldes como mínimo, de ciento

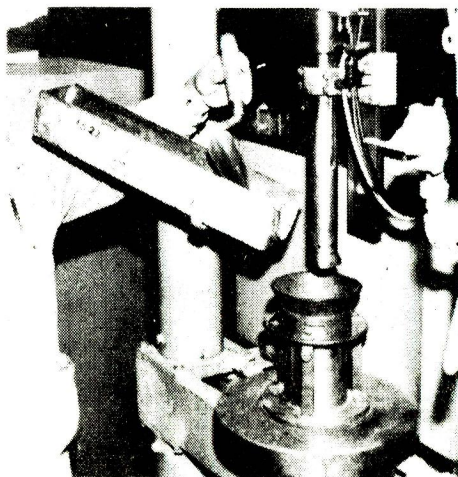


Figura Núm. 79. Disposición del equipo al iniciar la compactación del espécimen, por amasado.

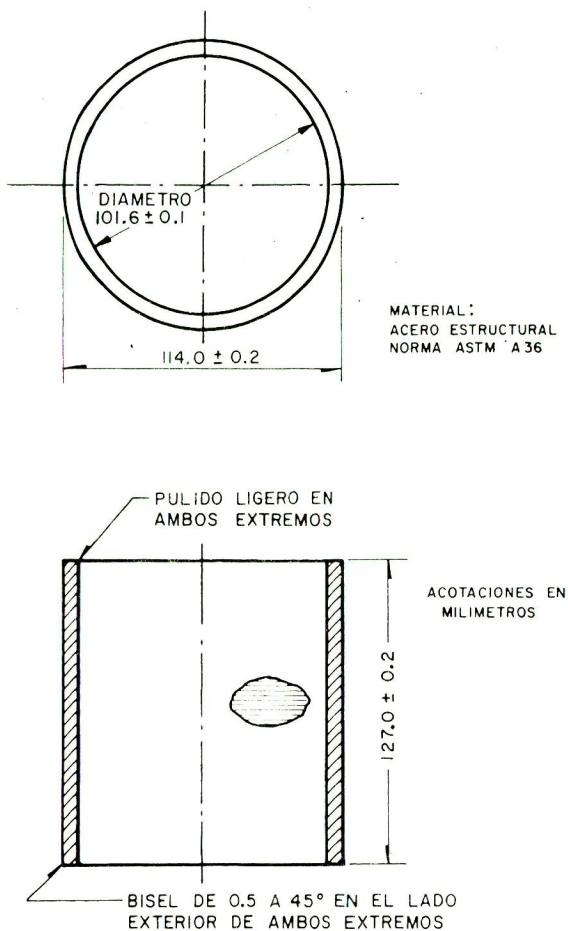
uno punto seis más menos cero punto uno (101.6 ± 0.1) milímetros de diámetro interior y ciento veintisiete punto cero más menos cero punto dos (127.0 ± 0.2) milímetros de altura y de peso conocido, en gramos, Figura Núm. 80.

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

Papel manila para las canastillas de los especímenes.

Cinta adhesiva, de doce (12) milímetros de ancho.

Adaptadores metálicos de pared delgada



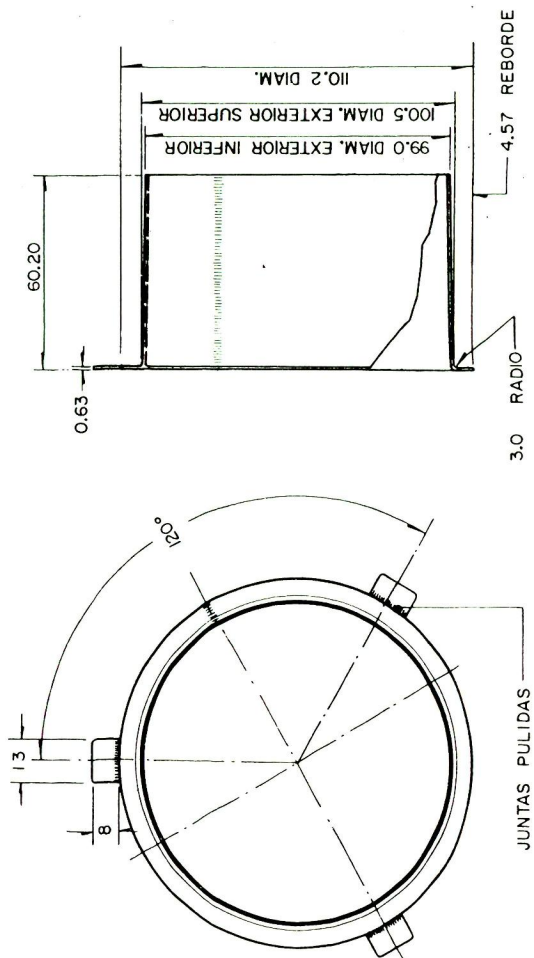
LA CARA INTERIOR DEL MOLDE TENDRA UN ACABADO PRODUCIDO POR RAYADO HELICOIDAL CON PASO DE 0.25 mm Y CON UNA PROFUNDIDAD DE 0.051 mm

FIGURA NUM. 80. MOLDE DE COMPACTACION

para proteger la canastilla de papel, de lámina inoxidable, de cero punto seis (0.6) milímetros de espesor (calibre Núm. 24) con las dimensiones que se indican en la Figura Núm. 81.

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

- b3) La elaboración de los especímenes de prueba, cuando el material es de fácil manipulación y moldeo y no requiere el uso de canastillas, se llevará a cabo como se indica a continuación:
 - b3.a) Una vez transcurrido el período de reposo considerado en la preparación de la muestra, se coloca ésta en una charola, se le agrega agua en la misma forma descrita en el subpárrafo a3), párrafo a) de este Inciso, hasta que se alcance la humedad de prueba estimada para que cumpla con los requisitos indicados en el subpárrafo b1) de este párrafo, e inmediatamente después se cubre la charola para evitar pérdidas de humedad.
 - b3.b) Se coloca el molde en el dispositivo de sujeción, el cual deberá tener sobre su base el disco de hule, ajustando el molde de tal manera que se tenga entre su borde inferior y la base del dispositivo de sujeción un espacio libre de tres (3) milímetros, lo cual se logra utilizando calzas de acero. Se introduce en el molde un disco de papel filtro de cien (100) milímetros de diámetro, el cual quedará



ACOTACIONES EN MILIMETROS

MATERIAL: LAMINA DE ACERO INOXIDABLE CALIBRE NUM. 24

FIGURA NUM. 81. ADAPTADOR PARA SUJETAR LA CANASTILLA EN EL MOLDE

colocado sobre el disco de hule. Se coloca sobre el molde la extensión cónica y a continuación se instala sobre la tornamesa del compactador el dispositivo de sujeción con el molde y su extensión.

b3.c) Se mezcla perfectamente la muestra que contiene la charola, se coloca distribuyéndola uniformemente a lo largo de la canaleta y se instala ésta en el compactador, Figura Núm. 79.

b3.d) Se acciona el compactador y se ajusta la presión del aire leída en el manómetro, de acuerdo con los datos de calibración, para que el pie del pisón tenga una presión de dieciocho más menos dos (18 ± 2) kilogramos por centímetro cuadrado. Antes de vaciar el material en el molde, es conveniente esperar a que el pisón, en su desplazamiento en las diferentes alturas a que compacta, alcance su posición más baja.

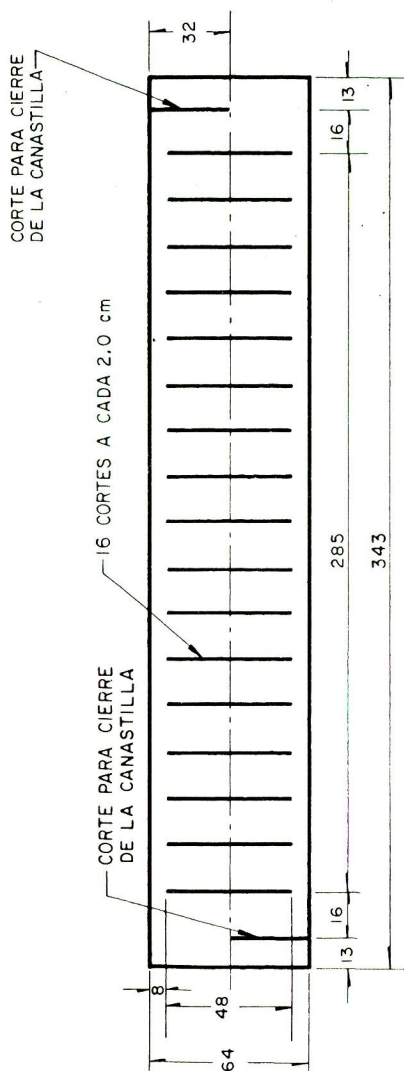
b3.e) A continuación, utilizando la espátula, se empuja el material colocado en los primeros siete (7) centímetros de la canaleta, de tal manera que éste caiga al fondo del molde. Se divide el resto de la muestra de prueba en veinte (20) partes iguales y se vierten éstas en forma sucesiva después de cada aplicación del pisón. Finalmente se aplican diez (10) golpes adicionales con objeto de acomodar y nivelar el material en el molde, se eleva el pisón, se limpia su base y se coloca sobre el material el disco de hule de cien (100) milímetros de diámetro. Si durante la operación de vertido

y acomodo inicial del suelo, éste se levanta en forma notable alrededor del pie del pisón, se reducirá la presión hasta que ya no se produzca dicho efecto.

- b3.f) Se aflojan los tornillos de sujeción del molde, se hace bajar el pisón e inmediatamente se incrementa la presión del aire de acuerdo con los datos de calibración, para que la presión en el pie del pisón sea de veinticuatro punto seis (24.6) kilogramos por centímetro cuadrado.
- b3.g) Se aplican cien (100) golpes al espécimen con el pisón a la presión mencionada; en el caso de algunos materiales arcillosos en los que el pisón penetra excesivamente al efectuar la compactación se bajará la presión en el pisón para que éste no penetre más de seis (6) milímetros, registrando la presión utilizada.
- b3.h) Si aparece agua alrededor de la base del molde durante la compactación, se detiene inmediatamente el compactador y se anota el número de golpes aplicados hasta ese momento.
- b3.i) Si el pisón compactador no deja en el espécimen una superficie sensiblemente plana, entonces se nivela ésta, dándole ligeros golpes con el pisón manual.
- b3.j) A continuación, se retira del compactador el molde con el espécimen, se mide la altura del espécimen elaborado para verificar que se cumpla con los requisitos indicados en el sub-subpárrafo b1.a), subpárrafo b1) de este párrafo, para ser

utilizado en la prueba de valor "R" de estabilidad; de no ser así, se ajusta el peso del material que se coloca en la canaleta para que la altura de los especímenes restantes sea la adecuada. Del material sobrante se toma una muestra para determinar la humedad del espécimen, de acuerdo con lo indicado en el inciso (002-E.02) de este Capítulo.

- b3.k) Se repite en cada una de las muestras de prueba el procedimiento descrito en los sub-subpárrafos b3.a) a b3.j) de este subpárrafo b3).
- b4) Cuando los materiales son granulares, mal graduados, escasos de finos o que por diferentes razones resulte difícil la extracción y manipulación de los especímenes sin dañarlos, se utilizarán canastillas de papel para manejarlos, sin que se deterioren. En este caso para la elaboración de los especímenes se procederá en la forma siguiente:
 - b4.a) Se construyen las canastillas que van a requerirse en la prueba; para cada una de ellas se utiliza una tira de papel manila que se dobla alrededor del bloque cilíndrico de madera, enganchando entre sí los extremos de la tira, Figuras Núms. 82 y 83. Utilizando cuatro (4) tiras de cinta adhesiva, se fija a la tira de papel colocada alrededor del bloque de madera, uno (1) de los discos de bronce fosforado para la prueba de presión de exudación, descrita en el párrafo c) de este inciso, cuidando que los orificios del disco no queden tapados por la cinta



ACOTACIONES EN MILIMETROS

FIGURA NUM. 82. FORMA Y DIMENSIONES DEL PAPEL PARA ELABORAR LA CANASTILLA

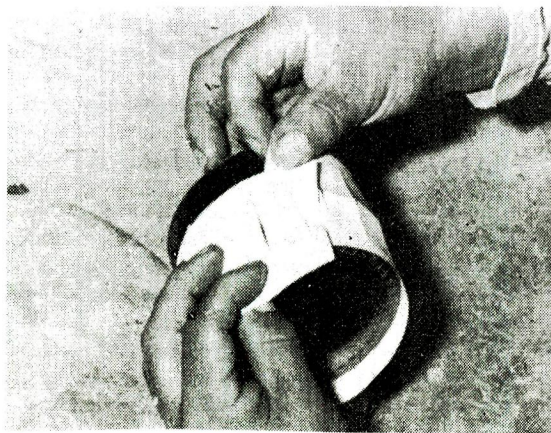


Figura Núm. 85. Armarado de la canastilla de papel sobre el cilindro de madera.

adhesiva.

- b4.b) Se proporciona al material la humedad de prueba estimada, siguiendo el procedimiento descrito en el sub-subpárrafo b3.a), subpárrafo b3), de este párrafo.
- b4.c) Se coloca el molde en el dispositivo de sujeción como se indica en el sub-subpárrafo b3.b), subpárrafo b3), de este párrafo y antes de colocar la extensión cónica sobre el molde, se instala la canastilla de papel deslizándola hasta que su parte superior se encuentre aproximadamente dos punto cinco (2.5) centímetros arriba del borde superior del molde, Figura Núm. 84. En igual forma, se inserta el adaptador metálico dentro de la canastilla de papel, hasta que el borde infe

rior del adaptador se encuentra a dos punto cinco (2.5) centímetros abajo de la parte superior de la canastilla y se deslizan dentro del molde y en forma si multánea, el adaptador y la canastilla hasta que el disco de bronce quede en contacto con el papel filtro y el borde en forma de labio del adaptador se apoye en el borde superior del molde. A continuación, se fijan las orejas del adaptador con el dispositivo de sujeción del molde.

- b4.d) Se homogeiniza la muestra y se coloca en la canaleta distribuyéndola uniformemente a lo largo de la misma y se instala ésta en el compactador.
- b4.e) Se acciona el compactador y se ajusta la presión del aire, leída en el manómetro de acuerdo con los datos de calibración, para que en el pie del pisón se tenga una presión de once punto veinticinco (11.25) kilogramos por centímetro cuadrado y se espera a que el pisón tenga su posición más baja.
- b4.f) En seguida, se empuja la mitad del material con la espátula, de tal manera que caiga en el fondo del molde y se acomoda con diez (10) aplicaciones del pisón; se levanta la zapata de compactación, se introduce la otra mitad del material dentro del molde y en la forma indicada se aplican diez (10) golpes con el pisón.
- b4.g) A continuación, se levanta y limpia la zapata de compactación, se quita el adaptador metálico y se coloca el disco de hule sobre el espécimen dentro del molde.

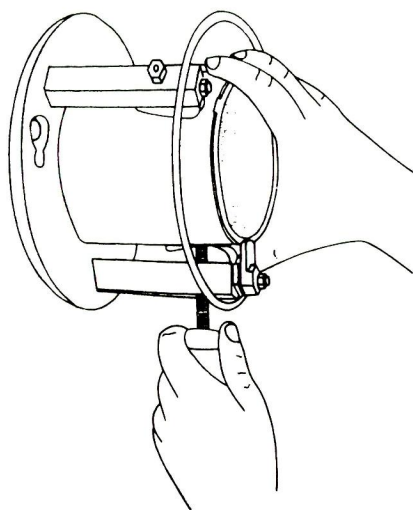
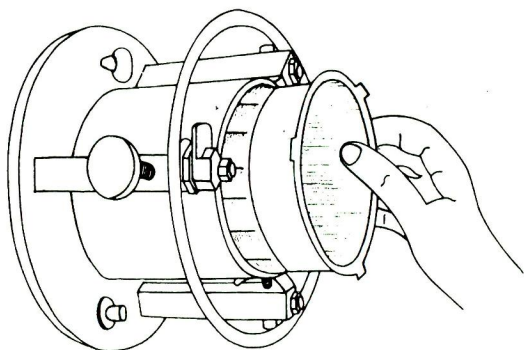


FIGURA NUM. 84.
COLOCACION DE LA CANASTILLA
Y EL ADAPTADOR EN EL MOLDE

se compacta dicho espécimen y se sigue el procedimiento descrito en los sub-sub párrafos b3.g) a b3.i), subpárrafo b3), de este párrafo.

Se repite en cada una de las muestras de prueba el procedimiento descrito en los sub-subpárrafos b4.a) a b4.g) de este subpárrafo.

- b5) En la elaboración de los especímenes de prueba, se tomarán las siguientes precauciones:
- b5.a) Homogeneizar el material evitando segregaciones y colocarlo uniformemente tanto en la canaleta como en el molde; esta última operación se facilitará marcando un borde de la canaleta para indicar la cantidad correspondiente a cada una de las veinte (20) porciones de dicho material.
 - b5.b) Verificar el correcto ajuste de la canastilla de papel, antes de indicar la compactación del material.
 - b5.c) Operar el compactador evitando la interposición de cualquier objeto entre el pie del pisón y el molde, que pueda originar daños al equipo.
 - b5.d) Repetir la prueba utilizando canastillas si en una primera operación sin éstas, se tienen dificultades para el manejo de los especímenes o bien, cuando se tengan valores erráticos de "R" o muy bajos para las características del material.
 - b5.e) Revisar periódicamente el acabado de la cara inferior del molde, para que se apegué a lo indicado en la Figura Núm. 80.
- c) Para la determinación de la presión de exu

dación de los especímenes de prueba, se to
mará en cuenta lo siguiente:

c1) Esta parte de la prueba del valor R de es
tabilidad comprende la obtención del es
fuerzo de compresión necesaria para exu
dar el agua de cada uno de los especíme
nes compactados, lo cual tiene por objeto
verificar los requisitos de la prueba y a
la vez determinar las características de
exudación del suelo.

c2) El equipo y materiales para efectuar esta
prueba son los siguientes:

Aparato para determinar la presión de exu
dación, como el mostrado en la Figura
Núm. 85.

Discos de bronce fosforado, con diámetro
de ciento uno (101) milímetros y calibre
Núm. 28, provistos de cuarenta y dos (42)
perforaciones con diámetro de cuatro (4)
milímetros, cuyos centros estarán ubica
dos en una circunferencia concéntrica de
ochenta y nueve (89) milímetros de diáme
tro.

Máquina de compresión con capacidad míni
ma de cuatro mil quinientos (4500) kilo
gramos, debidamente calibrada y provista
de un mecanismo para el control de aplica
ción de la carga y cabezal sin rótula.

Elemento metálico para transmitir la car
ga que se aplica al espécimen dentro del
molde de forma cilíndrica, de ciento vein
tisiete (127) milímetros de altura y ba
ses circulares con diámetro de cien punto
tres más menos cero punto uno ($100.3 \pm$
0.1) milímetros.



Figura Núm. 85. Aparato para determinar la presión de exudación.

Papel filtro de ciento diez (110) milímetros de diámetro y cero punto quince (0.15) milímetros de espesor, de superficie rugosa, velocidad de filtrado de media a rápida y retención de media.

- c3) El procedimiento para realizar esta prueba será el siguiente:
- c3.a) En la superficie compactada de uno de los especímenes que se encuentran dentro de sus moldes y elaborados como se indica en el párrafo b) de este inciso, se coloca el disco de bronce fosforado y se cubre éste con el disco de papel filtro.
 - c3.b) Se invierte el molde conteniendo el espécimen, de manera que el papel filtro quede hacia abajo y se coloca sobre la placa de contacto del aparato indicador de

la humedad de exudación, sujetándolo con las abrazaderas de presión de dicho aparato. Cuando se usan canastillas de papel se coloca el espécimen, sin invertirlo, sobre la placa de contacto del indicador de humedad a la que se ajustará previamente el papel filtro.

- c3.c) Se colocan la placa de contacto y el molde sobre la platina de la máquina de compresión, centrando perfectamente el conjunto para asegurar una distribución uniforme de la carga. Se conecta el interruptor del indicador de humedad y si únicamente enciende la luz central de dicho indicador, el molde estará centrado correctamente en la placa de contacto y no se registran falsos contactos debidos a la presencia de humedad o materiales extraños.
- c3.d) Si la máquina de compresión está provista de un asiento esférico en su cabezal, se usarán calzas metálicas para anular el efecto de la rótula y mantener en posición horizontal la superficie de contacto del cabezal.
- c3.e) Se coloca el elemento de transmisión de carga sobre la cara superior del espécimen, empujando éste hacia abajo para que haga contacto con la placa del indicador de humedad. Esta operación se hará en forma manual o por medio de la máquina de compresión.
- c3.f) Se aplica carga en forma progresiva, a una velocidad de novecientos (900) kilogramos por minuto, hasta que cinco (5) de las seis (6) luces queden encendidas;

se lee la carga aplicada y se registra como carga de exudación con aproximación de diez (10) kilogramos. Cuando al aplicar la carga en forma progresiva, aparece agua exudada alrededor de la base del molde y encienden por lo menos tres (3) luces, se considera que se ha alcanzado la presión de exudación y se registra la carga correspondiente como carga de exudación, sin esperar a que se enciendan las cinco (5) luces.

- c3.g) A continuación se libera la carga aplicada, se retira de la máquina de compresión el molde que contiene el espécimen y la placa de contacto, se desmonta de ésta el molde con el espécimen y se cubre con una tela húmeda, dejándolo en reposo mientras se determina si se cumplen los requisitos de presión de exudación y si este espécimen puede ser utilizado en las siguientes etapas del método.
- c3.h) Se repite en cada uno de los especímenes del grupo, el procedimiento indicado en los sub-subpárrafos c3.a) a c3.g) de este subpárrafo.
- c4) Se calcula la presión de exudación de cada uno de los especímenes dividiendo su carga de exudación entre el área de su sección transversal y se grafican estos resultados, colocando la humedad en por ciento en el eje de las abscisas y las presiones de exudación, en kilogramos por centímetro cuadrado, en el eje de las ordenadas. En la gráfica obtenida se comprobará su continuidad y también que las presiones de exudación registradas de los es

pecímenes, cumplan con lo indicado en el subpárrafo h1), párrafo b) de este inciso. Los especímenes que satisfacen estos requisitos podrán utilizarse para las siguientes etapas de la prueba, descartando los que no cumplan, excepto en el caso de materiales muy expansivos que puedan requerir presiones de exudación inferiores a siete punto cero (7.0) kilogramos por centímetro cuadrado.

Por otra parte, cuando se trate de suelo que fluye a través de la junta entre el molde y la placa, durante la operación de carga, y se llega a alcanzar la presión de cincuenta y seis (56) kilogramos por centímetro cuadrado sin que enciendan cinco (5) de las seis (6) luces, se considera que el material es de mala calidad para terracerías y no se prosigue con la prueba.

- c5) Al efectuar la determinación de la presión de exudación se tendrán las siguientes precauciones:
 - c5.a) Verificar que las características de la corriente eléctrica con que se accionan los aparatos sean las requeridas para su buen funcionamiento.
 - c5.b) Sustituir la placa de contacto cuando se observe desgastada o cuando los puntos de contacto presenten superficie de apoyo irregular, ya que estas anomalías pueden afectar los resultados de la prueba sin que el operador pueda advertirlas fácilmente.
 - c5.c) Verificar que la placa del aparato al aplicarle carga no tenga falsos contactos

que pudieran originar errores en las lecturas de la presión de exudación. Para detectar la falla mencionada, se puede aplicar carga a la placa a través de un disco de fieltro seco, con diámetro de ciento uno (101) milímetros y espesor de trece (13) milímetros, en lugar del espécimen de prueba; si cualquiera de las luces que registran la exudación enciende al aplicar una carga hasta de cuatro mil quinientos (4500) kilogramos, este dato será suficiente para sustituir la placa de contacto.

- c5.d) Secar la placa al terminar cada prueba, ya que cualquier humedad remanente puede originar resultados erróneos en la determinación de la presión de exudación.
- d) La determinación de los pesos específicos de cada uno de los especímenes para la prueba del valor "R" de estabilidad, se efectuará como sigue:
 - d1) Se lleva a cabo en los especímenes inmediatamente después de que se les ha determinado la presión de exudación y consiste esencialmente en obtener el peso húmedo y la altura de los especímenes compactados antes de someterlos a la prueba de expansión; utilizando los datos mencionados y la humedad correspondiente, se calcula el peso específico seco de cada espécimen, cuyos valores sirven para dar una idea de las condiciones de los especímenes de prueba y para establecer correlaciones en el diseño de pavimentos.
 - d2) El equipo requerido para efectuar esta parte del procedimiento, es el siguiente:

Dispositivo para determinar la presión de expansión, Figura Núm. 86.

Calibrador con escala métrica, de longitud no menor de diez (10) centímetros y vernier con aproximación de cero punto un (0.1) milímetro.

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

d3) El procedimiento de prueba es el siguiente:

d3.a) Se determina el peso W_i del molde con el espécimen húmedo que contiene y se anota dicho peso en la hoja de registro, en gramos.

d3.b) Se mide la altura del espécimen mediante el empleo del dispositivo para determinar la presión de expansión, al cual previamente se le habrán efectuado las operaciones que se describen en los sub-subpárrafos e3.b) a e3.g), subpárrafo e3), párrafo e), de este inciso, correspondientes a la determinación de la presión de expansión. La medición se hace después de girar la base circular del dispositivo, elevándola hasta que se tenga un contacto adecuado con la barra del dinamómetro y se observe en el extensómetro una lectura de cero punto cero veinticinco (0.025) milímetros. La altura del espécimen se obtiene leyendo en el medidor de alturas del aparato y en la graduación de la base giratoria y se anota en la hoja de registro, con aproximación de cero punto cero dos (0.02) centímetros. La altura del espécimen también podrá medirse con el calibrador tomando como ba

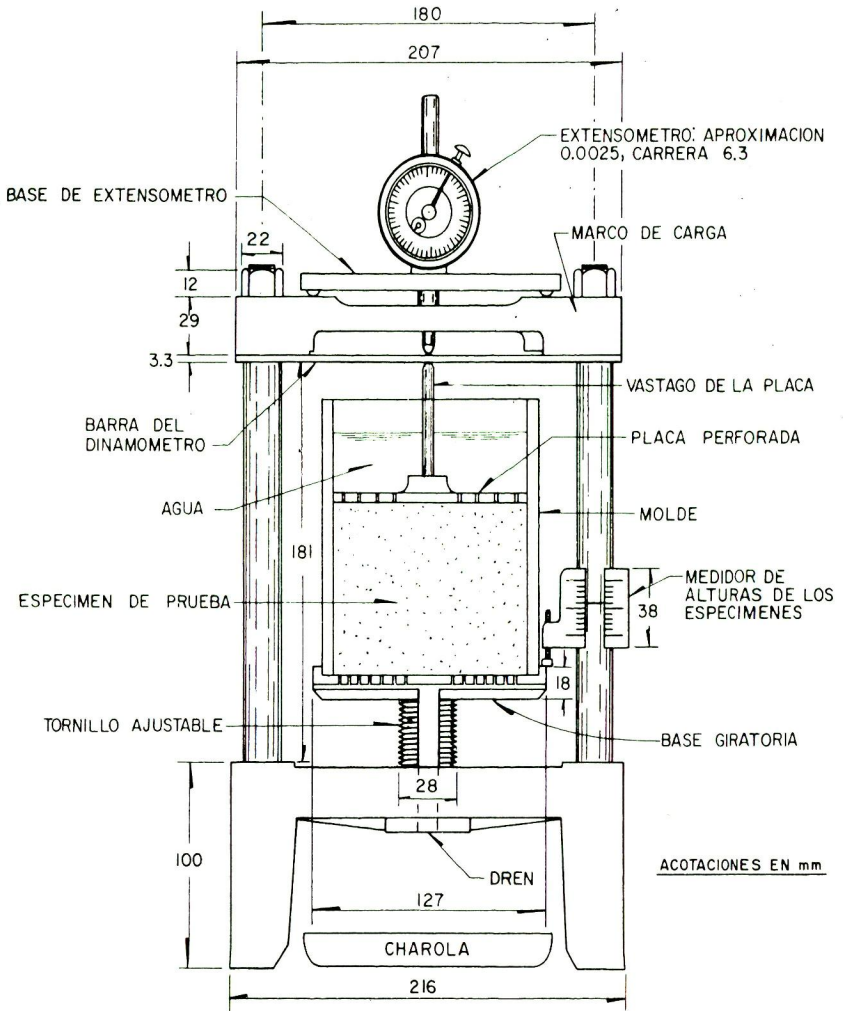


FIGURA NUM.86. DISPOSITIVO PARA MEDIR LA PRESION DE EXPANSION Y ALTURAS DE LOS ESPECIMENES PARA VALOR R - DE ESTABILIDAD.

se la altura del molde, a la cual se le resta la distancia comprendida entre la cara superior del espécimen y el borde superior del molde; se hacen varias de terminaciones y su promedio se anota en la hoja de registro con la aproximación mencionada.

d3.c) Se repite en cada uno de los especímenes del grupo, el procedimiento indicado en los sub-subpárrafos d3.a) y d3.b) de este subpárrafo.

d4) En esta parte el procedimiento se calculará como sigue:

d4.a) El peso específico de cada espécimen húmedo, γ_m , empleando la fórmula que se indica a continuación:

$$\gamma_m = \frac{W_i - W_t}{V} \times 1000$$

En donde:

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

W_i es el peso del espécimen húmedo más el peso del molde, en gramos.

W_t es el peso del molde, en gramos.

V es el volumen del espécimen calculado en función del diámetro interior del molde y la altura promedio del espécimen, expresada en centímetros cúbicos.

d4.b) El peso específico γ_d de cada espécimen seco empleando la siguiente fórmula:

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

En donde:

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

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

w es el contenido de agua del espécimen, en por ciento obtenido como se indica en el sub-subpárrafo b3.j), subpárrafo b3), párrafo b), de este Inciso.

e) La determinación de la presión de expansión en los especímenes de prueba del valor "R" de estabilidad se efectuará como sigue:

e1) Esta parte del procedimiento de prueba comprende la determinación de la presión de expansión que se desarrolla en los especímenes, en presencia de agua libre, y tiene por objeto a la vez que acondicionarlos para obtener el valor "R" de estabilidad, determinar las propiedades de expansión del suelo. Consiste esencialmente en propiciar que los especímenes en sus respectivos moldes, absorban agua durante cierto lapso para que desarrollen una presión de expansión bajo ciertas condiciones de confinamiento; esta presión se determina mediante el dinamómetro de barra con que cuenta el dispositivo de presión de expansión.

e2) El equipo y materiales necesarios para realizar esta prueba son los siguientes:

Cinco (5) dispositivos como mínimo para medir la presión de expansión, consistentes en un pequeño marco de carga, base qí

ratoria para el espécimen de prueba con escala de vernier integrada para medir alturas, un dinamómetro de barra plana perforada con vástago al centro y otros accesorios, Figura Núm. 86.

Equipo para calibrar el dinamómetro de barra.

Charolas metálicas de forma rectangular.

Papel filtro de once (11) centímetros de diámetro, de superficie rugosa, velocidad de filtrado de media a rápida y retención media.

e3) La preparación de los especímenes y del equipo se efectúa como sigue:

e3.a) Se dejan reposar los especímenes cuando menos media hora, a partir de la terminación de la prueba de presión de exudación.

e3.b) Se coloca el marco sobre una mesa o mueble alejado de la influencia de vibraciones, se remueve el polvo o cualquier material extraño adherido a la barra del dinamómetro y a los apoyos de la base de ajuste del extensómetro. Si es necesario se calibra con el equipo correspondiente la barra del dinamómetro, ajustando sus apoyos para lograr que la relación entre la deformación de dicha barra y la fuerza de expansión generada en el espécimen de prueba cumpla con lo siguiente:

<u>Carga aplicada</u> <u>en kilogramos</u>	<u>Lecturas en el ex</u> <u>tensómetro en milí</u> <u>metros</u>
3.75	0.055 ± 0.005
7.50	0.110 ± 0.005
11.25	0.165 ± 0.005
15.00	0.220 ± 0.005

- e3.c) Se coloca el extensómetro sobre la barra superior del marco de carga, de manera que los extremos de la base de dicho extensómetro se apoyen en el soporte ajustable del marco.
- e3.d) Utilizando una llave Allen se sube o baja el soporte ajustable del marco de carga hasta que la aguja del extensómetro indique una lectura de menos cero punto cero veinticinco (-0.025) milímetros.
- e3.e) Se coloca la placa perforada sobre la cara superior del espécimen de prueba y se pone el molde sobre la base giratoria del aparato, habiendo colocado previamente sobre ésta el papel filtro.
- e3.f) Se presiona con la mano la placa perforada para que ésta se asiente firmemente sobre el espécimen de prueba.
- e3.g) Se le da vueltas cuidadosamente a la base giratoria que sostiene el molde y al espécimen, para elevarla y lograr que el vástago de la placa haga contacto con la barra del dinamómetro y la presione para que la aguja del extensómetro regrese y marque cero (0) en la escala.
- e3.h) Se agregan aproximadamente doscientos (200) centímetros cúbicos de agua al espécimen en el molde y se deja en estas condiciones durante dieciséis (16) a veinticuatro (24) horas. Este lapso puede ser mayor que el indicado, excepto cuando se trata de especímenes que contengan cemento Portland o cal.
- e3.i) Al terminar el período de saturación se lee el extensómetro y se registra la de

flexión de la barra del dinamómetro, con aproximación de tres diez milésimos (0.0003) de centímetro designándola como d. Se anota si se filtra agua a través del espécimen y de ser así, se regresa al molde el agua recibida en la charola y se espera a que se reabsorba un poco; a continuación se quita el extensómetro, se elimina el agua libre que exista en el molde que contiene el espécimen y se retiran del marco de carga.

- e4) En esta parte del método se calculará la presión de expansión por medio de la fórmula siguiente:

$$P = K . d$$

En donde:

P es la presión de expansión del suelo, en kilogramos por centímetro cuadrado.

K es la constante de calibración de la barra, del dinamómetro, debidamente verificada, en kilogramos por centímetro cúbico.

d es la deflexión de la barra en centímetros.

- e5) Al realizar esta parte de la prueba, se tomarán las siguientes precauciones:

e5.a) Recalibrar el aparato cuando se hayan desarrollado presiones correspondientes a deformaciones mayores de cero punto veinticinco (0.25) milímetros en la barra del dinamómetro, que pudieran originar en ella deformaciones permanentes.

e5.b) Girar cuidadosamente la base en que se apoya el molde con el espécimen, cuando

se está ajustando el extensómetro, para evitar la aplicación de cargas excesivas que pudieran afectar las lecturas.

e5.c) Por ningún motivo se dejará agua libre sobre el espécimen, cuando no actúe en éste el confinamiento del aparato. Esta precaución es particularmente importante cuando se trata de suelos expansivos.

f) Para la determinación del valor R de estabilidad en los especímenes de prueba cuyas características previamente se verificaron, se tomará en cuenta lo siguiente:

f1) Esta parte del procedimiento consiste en obtener por medio del estabilómetro la presión y deformación horizontales desarrolladas en cada uno de los especímenes de prueba al aplicárseles cargas verticales. Tiene por objeto determinar un valor índice de la capacidad del espécimen para resistir deformaciones y sirve para establecer correlaciones en el diseño de pavimentos.

f2) El equipo necesario para efectuar esta prueba es el siguiente:

Estabilómetro con sus accesorios, como se muestra en la Figura Núm. 87, consistente fundamentalmente en una cámara cilíndrica de metal con base desplazable y paredes interiores constituidas por una membrana flexible, una bomba hidráulica de desplazamiento provista de extensómetro, para medir las deformaciones horizontales y un manómetro para registrar la presión horizontal.

Cilindro de metal, para apoyo en la cali

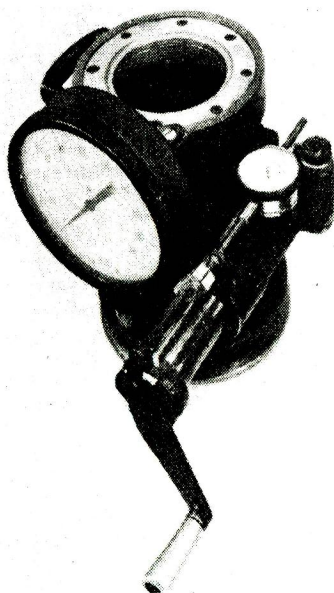


Figura Núm. 87. Estabilómetro.

bración del estabilómetro, de ciento uno punto seis (101.6) milímetros de diámetro y una altura de ciento cincuenta (150) milímetros.

Prensa o máquina de compresión con dispositivo para controlar la velocidad de aplicación de la carga con capacidad mínima de cuatro mil quinientos (4500) kilogramos y aproximación de diez (10) kilogramos.

Elemento metálico o seguidor, para transmitir la carga que se aplica al espécimen de prueba dentro del molde, de forma cilíndrica y diámetro exterior de cien punto tres más menos cero punto uno ($100.3 \pm$

0.1) milímetros.

f3) La verificación del ajuste y el montaje del equipo se llevan a cabo en la forma siguiente:

- f3.a) Se ajusta la prensa para que la carga se aplique a una velocidad de desplazamiento de uno punto cero (1.0) milímetros por minuto, colocando previamente sobre la platina de la máquina el conjunto del estabilómetro y la base desplazable. Si la prensa es hidráulica se hace funcionar poco tiempo antes de su utilización para que se facilite operarla a velocidad constante.
- f3.b) Se ajusta el volumen de aire de la celda hidráulica del estabilómetro para que se registren las lecturas de presión y desplazamiento, establecidas para la calibración de dicho aparato. Para lograr lo anterior, se ajusta la altura de la base del estabilómetro para que la cara superior de ésta se sitúe a una distancia de sesenta y uno (61) milímetros abajo del borde superior del diafragma. Se introduce el cilindro de metal de quince (15) centímetros de altura en la cámara del estabilómetro, apoyándolo firmemente sobre la superficie de la base ajustable, colocando a continuación el elemento metálico o seguidor. Se aplica una carga de cuarenta y cinco (45) kilogramos al cilindro metálico para mantenerlo fijo; inmediatamente después se gira la manivela de la bomba hasta que el manómetro registre una presión de cero punto treinta y cinco (0.35) kilogramos por centímetro

cuadrado y se pone en cero (0) el extensómetro de desplazamiento; se gira la manivela de la bomba a razón de dos (2) vueltas por segundo aproximadamente, para que la presión registrada en el manómetro sea de siete (7) kilogramos por centímetro cuadrado. Bajo estas condiciones, el desplazamiento que deberá registrar el indicador del extensómetro de la bomba será de dos más menos cero punto cero cinco (2 ± 0.05) vueltas; si el desplazamiento es diferente se corregirá la cantidad de aire que existe en la cámara, para lo cual se baja a cero (0) la presión, se abre la válvula y a continuación se gira la manivela para aumentar o disminuir el aire en la cámara, hasta lograr la lectura deseada en el extensómetro.

- f4) Esta parte de la prueba, para determinar el valor R de estabilidad, se efectúa en la forma siguiente:
 - f4.a) Se coloca el molde con el espécimen de prueba sobre el estabilómetro y con el seguidor metálico se empuja el espécimen para sacarlo del molde e introducirlo directamente en el estabilómetro hasta lograr un contacto firme con la base desplazable.
 - f4.b) Se coloca el seguidor metálico sobre la cara superior del espécimen y se centra el conjunto del estabilómetro con el cabezal de la prensa, el cual se baja para establecer contacto con el seguidor sin aplicar carga al espécimen.
 - f4.c) Se aplica al espécimen de prueba, median

te la bomba de desplazamiento, una presión horizontal de cero punto treinta y cinco (0.35) kilogramos por centímetro cuadrado y se carga verticalmente a la velocidad de un (1) milímetro por minuto; se registran las presiones leídas en el manómetro cuando las presiones verticales sean de cinco punto seis (5.6) kilogramos por centímetro cuadrado y once punto veinticinco (11.25) kilogramos por centímetro cuadrado, las cuales corresponden a las cargas aplicadas por la prensa de cuatrocientos cincuenta y tres (453) kilogramos y novecientos siete (907) kilogramos, respectivamente.

- f4.d) Al llegar a la carga de novecientos siete (907) kilogramos inmediatamente se abate a cuatrocientos cincuenta y tres (453) kilogramos, se gira la manivela de la bomba para que la presión horizontal sea de cero punto treinta y cinco (0.35) kilogramos por centímetro cuadrado, originando así una disminución de la carga vertical que se considera como normal y no se toma en cuenta. Se pone en cero (0) el indicador del extensómetro y a continuación se gira la manivela de la bomba a razón de dos (2) vueltas por segundo aproximadamente, hasta que el manómetro indique una presión de siete (7) kilogramos por centímetro cuadrado; durante la operación anterior aumenta la carga vertical superando en ciertos casos la carga inicial de cuatrocientos cincuenta y tres (453) kilogramos y como en el caso anterior este cambio no requiere corrección.

- f4.e) Se registra como desplazamiento del espécimen probado el número exacto de vueltas que indica el extensómetro de la bomba, con la aproximación correspondiente.
- f4.f) Se repite en cada uno de los especímenes restantes del grupo, el procedimiento descrito en los sub-subpárrafos f4.a) a f4.e) de este subpárrafo.
- f5) Se calcula el valor R de estabilidad de cada uno de los especímenes de prueba por medio del nomograma de la Figura Núm. 88, o bien utilizando la fórmula siguiente:

$$R = 100 - \frac{100}{\frac{2.5}{d} \left(\frac{P_v}{P_h} - 1 \right) + 1}$$

En donde:

- R es el valor de estabilidad del suelo, en las condiciones que tiene el espécimen, número abstracto.
- P_v es la presión vertical de once punto veinticinco (11.25) kilogramos por centímetro cuadrado.
- d es el desplazamiento del espécimen, medido por el número de vueltas de la manivela.
- P_h es la presión horizontal leída en el manómetro del estabilómetro, al aplicar la presión vertical P_v , en kilogramos por centímetro cuadrado.

Cuando la altura del espécimen de prueba sea mayor de sesenta y cinco (65) milímetros o menor de sesenta y dos (62) milímetros, se corregirá el valor R de estabilidad utilizando la gráfica de la Figura

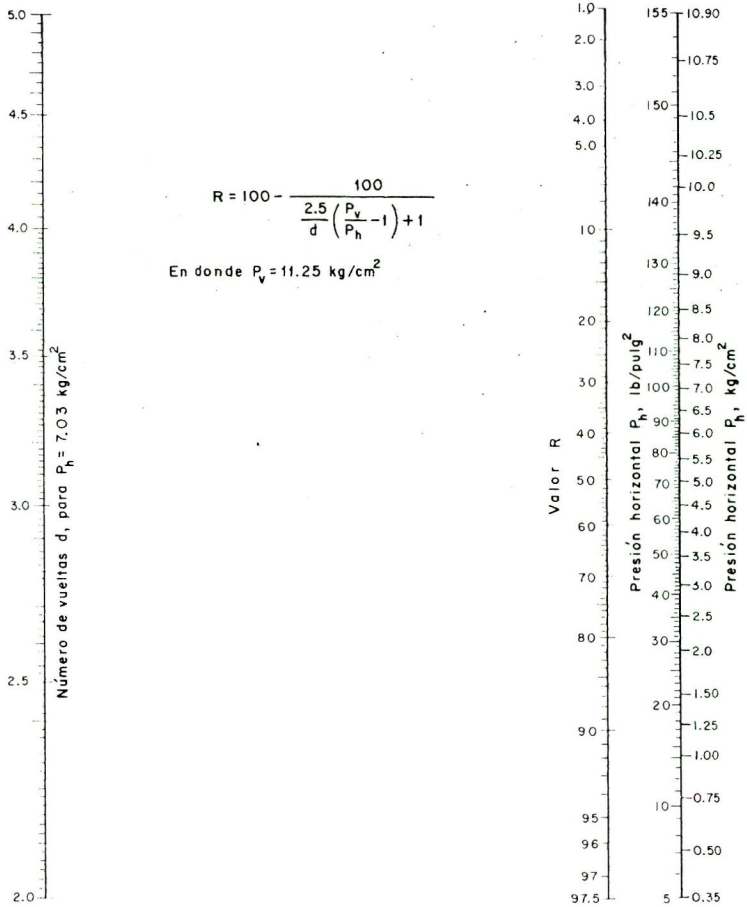


FIGURA NUM. 88. NOMOGRAMA PARA DETERMINAR EL VALOR R DE ESTABILIDAD EN LOS SUELOS.

Núm. 89. Los valores R de estabilidad, corregidos cuando sea necesario, se anotan en la hoja de registro correspondiente.

f6) Al efectuar esta parte de la prueba se tendrán las siguientes precauciones:

- f6.a) Pasar cuidadosamente el espécimen del molde al estabilómetro para evitar inutilizarlo, especialmente cuando se trate de materiales granulares.
- f6.b) Al aplicar la carga vertical, no exceder el valor límite de novecientos siete (907) kilogramos, ya que ello podría dañar el manómetro del estabilómetro, especialmente tratándose de materiales plásticos.
- f6.c) No utilizar herramientas para operar la válvula de la cámara de aire del estabilómetro.
- f6.d) No utilizar seguidores que carezcan de superficie lateral cilíndrica, ya que ello originaría variaciones en el desplazamiento del espécimen al aplicar la carga vertical, y además podrían romper el diafragma del estabilómetro.
- g) Los resultados de las determinaciones de presión de exudación, peso específico del material seco, presión de expansión y valor R de estabilidad, se presentarán en la forma como se indica en el ejemplo del cuadro de la página Núm. 298.
- h) Una vez conocidas las características de presión de exudación, presión de expansión, valor R de estabilidad y peso volumétrico de los especímenes de suelo elaborados con los contenidos de agua seleccionados, se po

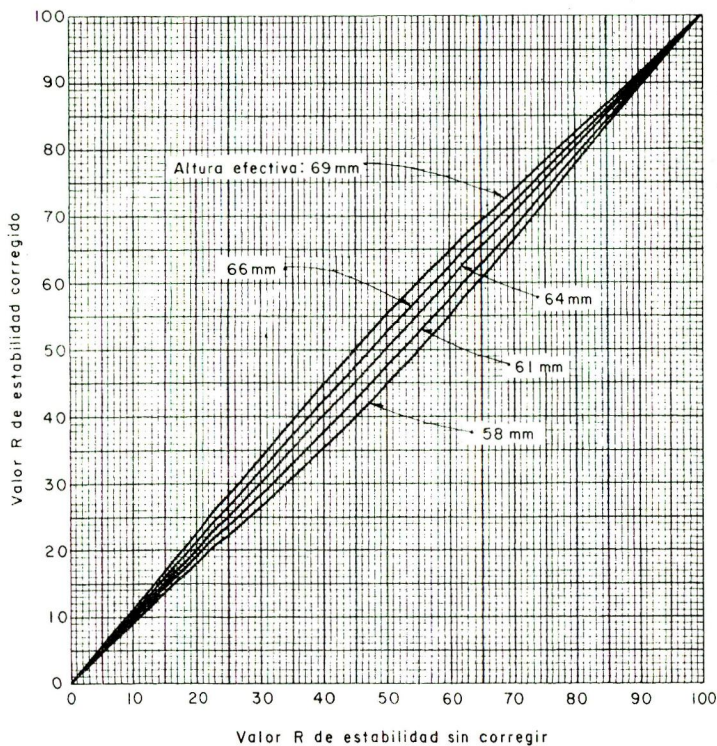


FIGURA NUM. 89. GRAFICA PARA CORREGIR POR ALTURA LOS VALORES R DE ESTABILIDAD DE LOS ESPECIMENES.

DETERMINACIONES	CARACTERISTICAS			
Espécimen Núm.	1	2	3	4
Humedades en por ciento	18.2	20.9	22.1	25.0
Presión de exudación, kg/cm ²	41.9	39.2	30.0	12.0
Peso específico del material seco, kg/m ³	1600	1630	1615	1518
Presión de expansión, kg/cm ²	0.022	0.015	0.005	0.0
Valor "R" de estabilidad (+)	58	49	40	8

- (+) Cuando en la determinación de la presión de exudación fluya el material a través de las juntas del molde y la placa, se reportará que el suelo tiene un valor "R" de estabilidad inferior a cinco (5).

drá determinar el valor R de estabilidad del material para fines de diseño, auxiliándose de una gráfica de proyecto de espesores de pavimento y procediendo en la forma que se indica a continuación:

- h1) Mediante la gráfica de proyecto de espesores y tomando en cuenta las características de tránsito consideradas, se determinan los distintos espesores de pavimento que se requieren para cada uno de los valores R de estabilidad obtenidos en los especímenes de prueba. Por otra parte, tomando en cuenta que el espesor del pavimento que se diseñe debe ser suficiente para que con su peso propio equilibre la presión de expansión, se calculan los espesores aproximados de pavimento neces

rios para contrarrestar cada una de las presiones de expansión resultantes de la prueba; a continuación se dibuja una curva como la indicada en la Figura Núm. 90, representando en el eje de las abscisas los espesores de pavimento necesarios para equilibrar las presiones de expansión y en las ordenadas, los espesores requeridos para los correspondientes valores R del estabilómetro, derivados de la gráfica de proyecto mencionada; el punto en que una recta trazada a cuarenta y cinco grados (45°) a partir del origen, corta a la citada curva, representa las condiciones en que la presión de expansión es equilibrada con el peso del pavimento obtenido con el valor de R. Entrando a la gráfica de proyecto de espesores de pavimento, con el espesor correspondiente al punto de intersección de la referida curva y procediendo a la inversa, se obtiene un valor R de estabilidad del material, que será el que satisfaga los requisitos de la presión de expansión.

- h2) En otra gráfica, como la que se muestra en la parte derecha de la Figura Núm. 90, se dibuja la curva presión de exudación-espesor por valor R del estabilómetro, anotando en las abscisas las presiones de exudación determinadas en cada uno de los especímenes de prueba y en las ordenadas, los espesores correspondientes por valor R de estabilómetro, obtenidos de la gráfica de proyecto de espesores, en la forma indicada en el subpárrafo h1) de este párrafo; la intersección de la curva mencionada con la línea que repre

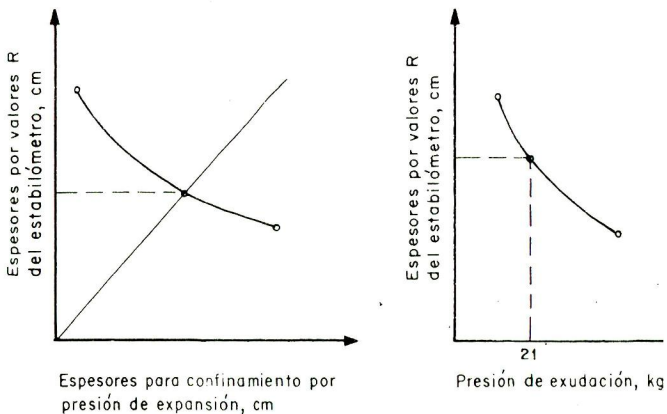


FIGURA NUM. 90. ESQUEMA DE LAS GRAFICAS UTILIZADAS PARA DETERMINAR EL VALOR R DE ESTABILIDAD DE SUELO, CON FINES DE DISEÑO.

senta la presión de veintiún (21) kilogramos sobre centímetro cuadrado indicará el espesor de pavimento definido por la prueba de exudación, y el valor R de estabilidad deducido de la gráfica de proyecto de espesores, será el que corresponda al suelo por presión de exudación.

- h3) El menor de los dos (2) valores R de estabilidad, por presión de expansión y por presión de exudación, se reportará como el valor R de estabilidad del material para fines de diseño.
- h4) En el caso de materiales no expansivos, para determinar el valor R de estabilidad del material para fines de diseño, puede ser suficiente llevar a cabo el análisis indicado en el subpárrafo h2) de este párrafo.

I N D I C E

LIBRO 6

PARTE 6.01

CARRETERAS Y AEROPISTAS

TITULO 6.01.01

TERRACERIAS

	Clasificación	Página
CAPITULO 6.01.01.001.-GENERALIDADES		
CONTENIDO	001-A	1
Indicación general de lo que <u>con</u> tiene el Libro 6	001-A.01	1
DEFINICION DE TERMINOS	001-B	1
Significado de términos	001-B.01	1
Sistema de mallas, para la <u>clasi</u> <u>ficación</u> granulométrica de <u>mate</u> <u>riales</u> pétreos	001-B.02	1
REFERENCIAS	001-C	3
Correspondencia de las referencias	001-C.01	3
FINALIDAD DE LAS PRUEBAS	001-D	3
Descripción	001-D.01	3
Condiciones para la aplicación de los resultados de las pruebas	001-D.02	3
CAPITULO 6.01.01.002.- MATERIALES PARA TERRACERIAS		
CONTENIDO	002-A	4
Generalidades	002-A.01	4
MUESTREO	002-B	4
Generalidades	002-B.01	4
Muestras inalteradas	002-B.02	5
Muestras alteradas	002-B.03	11
PROCEDIMIENTOS PARA LA CLASIFICA- CION DE FRAGMENTOS DE ROCA Y SUE- LOS	002-C	18
Generalidades	002-C.01	18
Equipo de prueba	002-C.02	19
Preparación de la muestra	002-C.03	20

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

	Clasificación	Página
Procedimiento para la <u>identificación</u> de fragmentos de roca	002-C.04	21
Procedimientos para la <u>identificación</u> aproximada de los suelos	002-C.05	22
Procedimientos para la <u>identificación</u> aproximada de mezclas de fragmentos de roca y suelos	002-C.06	29
PREPARACION DE LAS MUESTRAS	002-D	29
Generalidades	002-D.01	29
Secado	002-D.02	29
Disgregación	002-D.03	30
Cuarteo	002-D.04	34
DETERMINACION DE LA HUMEDAD O CON <u>TENIDO DE AGUA DE LOS SUELOS</u>	002-E	40
Generalidades	002-E.01	40
Prueba estándar	002-E.02	41
Prueba rápida	002-E.03	45
CORRECCION AL CONTENIDO DE AGUA <u>DETERMINADO CON LA PRUEBA RAPIDA</u>	002-F	47
Generalidades	002-F.01	47
Equipo de prueba	002-F.02	47
Procedimiento de prueba	002-F.03	47
Cálculos	002-F.04	48
Precauciones	002-F.05	49
PESOS ESPECIFICOS RELATIVOS Y <u>ABSORCION DE LAS PARTICULAS DE MATERIAL PETREO</u>	002-G	49
Definiciones	002-G.01	49
Determinación de los pesos <u>específicos</u> relativos y de la absorción del material retenido en la <u>mall</u> Núm. 4.75	002-G.02	54
Determinación de los pesos <u>específicos</u> relativos y de la absorción del material que pasa la malla - Núm. 4.75	002-G.03	62
DETERMINACION DE LA COMPOSICION - <u>GRANULOMETRICA MEDIANTE EL USO DE MALLAS</u>	002-H	73
Generalidades	002-H.01	73
Análisis granulométrico estándar	002-H.02	74
Análisis granulométrico <u>simplificado</u>	002-H.03	87
Cuando se requiera conocer con <u>mayor exactitud</u> el porcentaje del material que pasa la malla Núm. 0.075	002-H.04	89
DETERMINACION DE LOS LIMITES DE - <u>PLASTICIDAD Y DE LA CONTRACCION LINEAL</u>	002-I	90

	Clasificación	Página
Generalidades	002-I.01	90
Determinación del límite líquido de un suelo por el método estándar	002-I.02	92
Determinación del límite líquido de un suelo por el método simplificado	002-I.03	102
Determinación del límite plástico de un suelo	002-I.04	105
Determinación del índice plástico de un suelo	002-I.05	108
Determinación de la contracción lineal de un suelo	002-I.06	109
DETERMINACION DE LOS PESOS ESPECIFICOS O PESOS VOLUMETRICOS DE LOS SUELOS	002-J	114
Generalidades	002-J.01	114
Peso específico o volumétrico de un suelo en estado suelto	002-J.02	116
Peso específico o volumétrico de un suelo seco y suelto	002-J.03	116
Peso específico o volumétrico en el lugar por el método de la trompa y arena	002-J.04	119
Peso específico o volumétrico en el lugar por el método del cono y arena	002-J.05	129
Peso específico o volumétrico en el lugar por el método de agua	002-J.06	136
Peso específico o volumétrico en muestras inalteradas por el método de la parafina	002-J.07	142
Peso específico o volumétrico en muestras inalteradas por el método de los especímenes labrados	002-J.08	147
PRUEBAS DE COMPACTACION	002-K	152
Generalidades	002-K.01	152
Prueba de compactación dinámica por el Método AASHTO estándar	002-K.02	158
Prueba de compactación dinámica Proctor S.C.T.	002-K.03	170
Prueba de compactación dinámica por el Método AASHTO modificada tres capas	002-K.04	171
Prueba de compactación dinámica por el Método AASHTO modificada cinco capas	002-K.05	176
Prueba Porter de compactación por carga estática	002-K.06	176
Prueba de compactación en materiales estabilizados	002-K.07	183

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

	Clasificación	Página
DETERMINACION DEL GRADO DE COM-		
PACTACION	002-L	183
Generalidades	002-L.01	183
Cálculo	002-L.02	184
DETERMINACION DE LOS COEFICIEN-		
TES DE VARIACION VOLUMETRICA	002-M	185
Definiciones	002-M.01	185
Coefficiente de variación volumé-		
trica de estado natural a esta		
do suelto	002-M.02	186
Coefficiente de variación volumé-		
trica de estado natural a esta		
do compactado en el lugar	002-M.03	187
Coefficiente de variación volumé-		
trica de estado suelto a mate-		
rial compactado en el lugar	002-M.04	188
Coefficiente de variación volumé-		
trica de estado suelto a com-		
pactado en el laboratorio	002-M.05	189
DETERMINACION DE LOS INDICES DE		
RESISTENCIA DE LOS SUELOS	002-N	192
Generalidades	002-N.01	192
Prueba Porter estándar	002-N.02	194
Prueba Porter modificada	002-N.03	206
Prueba directa	002-N.04	214
Prueba de V.R.S. basada en el		
método del Cuerpo de Ingenie-		
ros del Ejército de los Estados		
Unidos	002-N.05	221
Determinación del valor soporte		
por medio de la prueba de pla-		
ca	002-N.06	235
Determinación del módulo de reac-		
ción	002-N.07	247
Método para determinar los valo-		
res R de estabilidad, presión		
de expansión y de exudación en		
suelos compactados por el pro-		
cedimiento de amasado	002-N.08	254

Esta edición de 500 ejemplares para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes es reimpresión de la edición del año de 1986 y se terminó de imprimir en noviembre de 1995, en los talleres de Corporación Mexicana de Impresión S.A. de C.V. José Morán No. 218 Col. Daniel Garza, México, D.F. C.P. 11830



