

SUELOS. Método de ensayo para la compactación del
suelo en laboratorio utilizando una energía modificada
(2 700 kN-m/m³ (56 000 pie-lbf/pie³))

SOILS. Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56 000 ft-lbf/ft³ (2 700 kN-m/m³))

2019-10-09
1ª Edición

© INACAL 2019

Todos los derechos son reservados. A menos que se especifique lo contrario, ninguna parte de esta publicación podrá ser reproducida o utilizada por cualquier medio, electrónico o mecánico, incluyendo fotocopia o publicándolo en el internet o intranet, sin permiso por escrito del INACAL.

INACAL

Calle Las Camelias 817, San Isidro
Lima - Perú
Tel.: +51 1 640-8820
publicaciones@inacal.gob.pe
www.inacal.gob.pe

ÍNDICE

		página
	ÍNDICE	ii
	PRÓLOGO (de revisión 2019)	iv
	PRÓLOGO (de revisión 2014)	v
	PREFACIO	vi
1	Objeto	1
2	Alcance	1
3	Referencias normativas	4
4	Terminología	7
5	Resumen del método de ensayo	8
6	Importancia y uso	8
7	Aparatos	9
8	Muestra del ensayo	11
9	Preparación del aparato	12
10	Calibración	12
11	Procedimientos	13
12	Cálculos	17
13	Informe	19
14	Precisión y confiabilidad	20
15	Palabras claves	20
16	Antecedentes	21
	ANEXO	22

Figura 1	26
Figura 2	27
Figura 3	29
Tabla 1	27
Tabla 2	28
Tabla A1	30

PROHIBIDA SU REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL

PRÓLOGO

(de revisión 2019)

A.1 La Norma Técnica Peruana (NTP) **NTP 339.141:1999 (revisada el 2014) SUELOS. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2,700 kN-m/m³ (56,000 pie-lb/pie³))**, 1ª Edición, se incluyó en el Programa de Actualización de Normas Técnicas Peruanas.

A.2 La NTP referida, aprobada mediante resolución N° 0091-2014/CNB-INDECOPI, al no contar con ningún Comité Técnico de Normalización activo, fue revisada y puesta a consulta pública por un periodo de 30 días calendario. No recibió observaciones por parte de los representantes de los sectores involucrados: producción, consumo y técnico.

A.3 La Dirección de Normalización (DN), procedió a mantener su vigencia, previa revisión final, aprobando la versión revisada el 09 de octubre de 2019.

NOTA: Cabe resaltar que la revisión de la presente NTP se ha realizado con el objetivo de determinar su vigencia, mas no su actualización.

A.4 La presente Norma Técnica Peruana reemplaza a la NTP 339.141:1999 (revisada el 2014) SUELOS. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2,700 kN-m/m³ (56,000 pie-lb/pie³)), 1ª Edición.

PRÓLOGO

(de revisión 2014)

A.1 La Norma Técnica Peruana **NTP 339.141:1999 SUELOS. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2,700 kN-m/m³ (56,000 pie-lb/pie³))**. 1ª Edición, se incluyó en el Plan de Revisión y Actualización de Normas Técnicas Peruanas que cumplieron 15 años de vigencia.

A.2 La NTP referida, aprobada mediante resolución N° 0086-1999/INDECOPI-CRT, al no pertenecer a ningún Comité Técnico de Normalización activo en el tema, se sometió a discusión pública por 60 días calendario contados a partir del 25 de abril del 2014, al no haberse recibido opinión de dejar sin efecto por parte de los representantes de los sectores involucrados: producción, consumo y técnico, relacionados con el tema de geotecnia, se procede a la aprobación de su vigencia.

A.3 La Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias –CNB- aprobó la versión revisada, el 28 de agosto de 2014, manteniendo su vigencia sin modificaciones.

A.4 Los métodos de ensayo y de muestreo cambian periódicamente con el avance de la técnica. Por lo cual, recomendamos consultar en el Centro de Información y Documentación del Organismo de Normalización, la vigencia de los métodos de ensayo de muestreo referidos en esta NTP.

PREFACIO

A. RESEÑA HISTÓRICA

A.1 La presente Norma Técnica Peruana fue elaborada por el Comité Técnico de Normalización Permanente de Geotecnia, mediante el Sistema 2 u Ordinario, durante los meses de Abril de 1996 a Setiembre de 1999, utilizó como antecedente a la Norma ASTM D 1557-91, Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 pie-lbf/pie³ (2,700 kN-m/m³)).

A.2 El Comité Técnico de Normalización de Geotecnia, presentó a la Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales –CRT, con fecha 1999-11-18, el PNTP 339.141:1999, para su revisión y aprobación, siendo sometida a etapa de Discusión Pública el 99-11-24. No habiéndose presentado ninguna observación, fue oficializado como Norma Técnica Peruana **NTP 339.141:1999 SUELOS. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2,700 kN-m/m³ (56,000 pie-lb/pie³))**, 1ª Edición el 26 de febrero del 2000.

A.3 Esta Norma Técnica Peruana presenta cambios editoriales referidos principalmente a terminología empleada propia del idioma español y ha sido estructurada de acuerdo a las Guías Peruanas GP 001:1995 y GP 002:1995.

B. INSTITUCIONES QUE PARTICIPARON EN LA ELABORACIÓN DE LA NORMA TÉCNICA PERUANA

Secretaría	Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción SENCICO
Presidente	Ing. Mercedes Dongo Ismodes
Secretario	Ing. Alberto Concha-Fernández Benavides

ENTIDAD

SENCICO

REPRESENTANTES

Mercedes Dongo Ismodes
Alberto Concha-Fernández Benavides

Universidad Nacional de Ingeniería

José Wilfredo Gutiérrez Lazares
Luisa Esther Shuan Lucas

Universidad Ricardo Palma

Abel Ordoñez Huamán

Instituto para el desarrollo de los
pavimentos en el Perú

Germán Vivar Romero

Alpha Consult

Genaro Humala Aybar

COSAPI S.A

Javier Martin Arranz

CICSA

Justo Kahatt Katan
Jesús Arrué Morales

Ministerio de Transportes, Comunicaciones,
Vivienda y Construcción (MTC)

Julio Manrique Pino

PAVCO DEL PERU S.A.

Néstor Sifuentes Boggio

ALBEN S.A

Luis Aparcana Anicama

CIDELSA

Miguel Gonzalez Paniura

INGENIERIA DINAMICA

Lia Ricaldi

TECNOLOGIA DE MATERIALES

José Ferreyros Villacorta
Augusto Alza Vilela

SUELOS. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2 700 kN-m/m³ (56 000 pie-lbf/pie³))

1 Objeto

Esta Norma Técnica Peruana establece el método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2,700 kN-m/m³ (56,000 pie-lbf/pie³)).

2 Alcance

2.1 Este método de ensayo cubre los procedimientos de compactación en laboratorio que se utilizan para determinar las relaciones entre el contenido de agua y el peso unitario seco de los suelos (curva de compactación) compactada en un molde con un diámetro de 101,6 o 152,4 mm (4 ó 6 pulg) con un pisón de 44.5-N (10-lbf) que cae a una altura de 457 mm (18 pulg) produciendo un esfuerzo de compactación de (2,700 kN-m/m³ (56,000 pie-lbf/pie³)).

NOTAS:

1 - Las mezclas de suelos o de suelos agregados se les considera como suelos finos, o de grano grueso o compuestos o mezclas de suelos naturales, o mezclas de suelos naturales o procesados o agregados tal como el limo, grava, o piedra partida.

2 - El equipo y los procedimientos son los mismos que propuso la U.S. Corps of Engineers - el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos en 1945. La prueba de esfuerzo modificado (véase 4.2.2) también tiene el nombre de Prueba de Compactación de Proctor Modificado.

2.2 Este método de ensayo solo se utiliza con suelos que tienen el 30 % o menos en peso de sus partículas retenidas en el tamiz de 19,0 mm (¾ pulg).

NOTA 3: Para las relaciones entre los pesos unitarios y los contenidos de agua de los suelos con el 30 % o menos en peso de las partículas retenidas en un tamiz de 19,0-mm (¾ pulg) a pesos unitarios y contenidos de agua de la fracción que pasa el tamiz de 19.0-mm (¾ pulg), véase la Práctica ASTM D 4718.

2.3 Existen tres procedimientos. El procedimiento que se utilizará deberá realizarse como se indica en la especificación para el material que se utilizará en el ensayo. Si no se indica ningún procedimiento, la elección del procedimiento se basará en la gradación del material.

2.3.1 Procedimiento A

2.3.1.1 Molde de 101,6 mm (4 pulg) de diámetro.

2.3.1.2 Material que pasa la malla N° 4 (4,75 mm).

2.3.1.3 **Capas:** Cinco.

2.3.1.4 **Golpes por capas:** 25.

2.3.1.5 **Uso:** Se utiliza, si la malla N° 4 (4,75-mm) retiene el 20 % o menos del peso del material.

2.3.1.6 **Otros usos:** Si no se indicase ningún procedimiento, los materiales que tengan estos requisitos de gradación, deberán ser ensayados de acuerdo a los procedimientos B o C.

2.3.2 Procedimiento B

2.3.2.1 **Molde:** diámetro de 101,6 mm (4 pulg)

2.3.2.2 **Materiales:** que pasan la malla 9,5 mm (3/8 pulg)

2.3.2.3 **Capas:** Cinco.

2.3.2.4 **Golpes por capas:** 25.

2.3.2.5 **Uso:** Se utiliza, si el tamiz N° 4 (4,75-mm) retiene más del 20 % en peso del material y el tamiz de 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ pulg) retiene el 20 % o menos en peso del material.

2.3.2.6 **Otros usos:** Si no se indicase ningún procedimiento, los materiales que tengan estos requisitos de gradación, deberán ser ensayados de acuerdo al procedimiento C.

2.3.3 Procedimiento C

2.3.3.1 **Molde:** 152,4 mm (6 pulg) de diámetro.

2.3.3.2 **Material:** que pasa el tamiz de 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ pulg)

2.3.3.3 **Capas:** Cinco.

2.3.3.4 **Golpes por capas:** 56.

2.3.3.5 **Uso:** Se deberá utilizar si el tamiz 9,53 mm ($\frac{3}{8}$ pulg) retiene más del 20 % en peso del material y el tamiz 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ pulg) retiene menos del 30 % en peso del material.

2.3.4 En el procedimiento A ó B no se utiliza el molde de diámetro de 6 pulg .

NOTA 4: Los resultados obtenidos varían ligeramente cuando un material se ensaya con el mismo esfuerzo de compactación en moldes de diferentes tamaños.

2.4 Si el espécimen ensayado contiene más del 5 % en peso de un tamaño mayor (fracción gruesa) y el material no se incluye en el ensayo, se deberá corregir el peso unitario y el contenido de agua del espécimen ensayado a la densidad de campo apropiada usando la práctica ASTM D4718.

2.5 Este método de ensayo generalmente produce un peso unitario seco máximo bien definido en los suelos que no drenan libremente. Si este método de ensayo se utiliza para suelos que drenan libremente, no se definirá bien el peso unitario máximo y puede ser menor del obtenido con el método de ensayo NTP 339.137.

2.6 Los valores de unidades de pulg-libras son estándar. Los valores establecidos por las unidades SI sólo son para información.

2.6.1 En ingeniería se acostumbra usar, indistintamente, unidades que representan masa y fuerza a menos que se realicen cálculos dinámicos ($F = Ma$). Tácitamente combina dos sistemas diferentes de unidades, es decir un sistema absoluto y uno gravimétrico. Científicamente no se desea combinar el uso de dos sistemas diferentes en uno estándar. Este método de ensayo se elaboró utilizando unidades pulg-libra (sistema gravimétrico) donde la libra (lbf.) representa una unidad de fuerza. El uso de masa (lb m) es por conveniencia de las unidades y no intenta establecer que su uso sea científicamente correcto. Las conversiones del sistema SI son de acuerdo a la práctica ASTM E380. El uso de balanzas que registran libras masa o registran la densidad en lbm/pie^3 no se debe considerar como si no concordase con esta NTP.

2.7 Esta NTP no hace referencia a todos los riesgos relacionados con este uso, si los hubiera. Es responsabilidad del usuario de esta NTP, establecer una seguridad apropiada, pruebas confiables y determinar la aplicabilidad de limitaciones regulatorias antes del uso.

3 Referencias normativas

Las siguientes normas contienen disposiciones que al ser citadas en este texto, constituyen requisitos de esta Norma Técnica Peruana. Las ediciones indicadas estaban en vigencia en el momento de esta publicación. Como toda Norma está sujeta a revisión, se recomienda a aquellos que realicen acuerdos en base a ellos, que analicen la conveniencia de usar las ediciones recientes de las normas citadas seguidamente. El Organismo Peruano de Normalización posee la información de las Normas Técnicas Peruanas en vigencia en todo momento.

3.1 Normas Técnicas Peruanas

NTP 339.127:1998 (revisada el 2014)	SUELOS. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo
NTP 339.128:1999 (revisada el 2014)	SUELOS. Método de ensayo para el análisis granulométrico
NTP 339.131:1998 (revisada el 2014)	SUELOS. Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo
NTP 339.134:1999 (revisada el 2014)	SUELOS. Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS)
NTP 339.136:1999 (revisada el 2014)	SUELOS. Símbolos, unidades, terminologías y definiciones
NTP 339.137:1999 (revisada el 2014)	SUELOS. Métodos de ensayo estándar para la determinación del índice de densidad y peso unitario máximos de suelos utilizando una mesa vibratoria
NTP 339.142:1999 (revisada el 2014)	SUELOS. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía estándar 600 kN-m/m ³ (12,400 pie-lbf/pie ³))
NTP 400.021:1979 ¹	AGREGADOS. Método de ensayo para la determinación del peso específico y absorción del agregado grueso

¹ La NTP 400.021:1979 fue dejada sin efecto. La versión vigente a la fecha es la NTP 400.021:2013 (revisada el 2018)

3.2 Normas Técnicas de Asociación

ASTM C136:1996 ²	Método para el análisis de tamiz de agregados finos y gruesos
ASTM D2168:1990 ³	Práctica para la calibración de compactadores de suelo de apisonadora mecánica de laboratorio
ASTM D2488:1993 ⁴	Práctica para la descripción e identificación de suelos (procedimiento visual y manual)
ASTM D4718:1994 ⁵	Práctica para la corrección del peso unitario y el contenido de agua en suelos que contienen partículas de gran tamaño
ASTM D4753:1992 ⁶	Guía para evaluar, seleccionar y especificar balanzas y masas patrones para uso en pruebas de suelo, rocas y materiales de construcción
ASTM E1:1998 ⁷	Requisitos para termómetros de vidrio ASTM
ASTM E11:1995 ⁸	Requisitos para los tamices de prueba de tejidos de alambre
ASTM E380:1993 ⁹	Práctica para el uso del Sistema Internacional de Unidades

2 La ASTM C136:1996 fue dejada sin efecto. La versión vigente a la fecha es la ASTM C136-14.
3 La ASTM D2168:1990 fue dejada sin efecto. La versión vigente a la fecha es la ASTM D2168-10 (2018).
4 La ASTM D2488:1993 fue dejada sin efecto. La versión vigente a la fecha es la ASTM D2488-17e1.
5 La ASTM D4718:1994 fue dejada sin efecto. La versión vigente a la fecha es la ASTM D4718/D4718-15.
6 La ASTM D4753:1992 fue dejada sin efecto. La versión vigente a la fecha es la ASTM D4753-15.
7 La ASTM E1:1998 fue dejada sin efecto. La versión vigente a la fecha es la ASTM E1-14.
8 La ASTM E11:1995 fue dejada sin efecto. La versión vigente a la fecha es la ASTM E11-17.
9 La ASTM E380-93 fue dejada sin efecto en 1997, sin reemplazo.

4 Terminología

4.1 **Definiciones:** véase Terminología NTP 339.136 para definiciones generales

4.2 Descripción de términos específicos relacionadas a esta NTP.

4.2.1

esfuerzo modificado

es el término aplicado para el esfuerzo de compactación de $2700 \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m}^3$ ($56000 \text{ pie}\cdot\text{lb}/\text{pie}^3$) aplicado por el equipo y procedimientos de este ensayo

4.2.2

peso unitario seco máximo modificado, $\gamma_{\text{dmáx}}$ (kN/m^3 (lb/pie^3))

es el máximo valor definido por la curva de compactación del ensayo utilizando un esfuerzo modificado

4.2.3

contenido de Agua Óptimo modificado, w_0 (%)

es el contenido de agua al que el suelo será compactado al peso unitario seco máximo utilizando un esfuerzo de compactación modificado

4.2.4

fracción de tamaño mayor (fracción gruesa), P_c (%)

es la porción de la muestra total que no se utiliza en el ensayo de compactación; es la porción de la muestra total que retiene la malla N° 4 (4,75 mm), 9,5 mm ($3/8$ pulg) o 19,0 mm ($3/4$ pulg)

4.2.5

fracción de ensayo (fracción más fina), P_F (%)

es la porción de la muestra total utilizada en el ensayo de compactación; es la fracción que pasa la malla N° 4 (4,75 mm) en el procedimiento A, menor al tamiz de 9,5 mm ($3/8$ pulg) en el procedimiento B, o menor del tamiz de 19,0 mm ($3/4$ pulg) del Procedimiento C

5 Resumen del método de ensayo

Se coloca un suelo a un contenido de agua seleccionado en cinco capas dentro de un molde de dimensiones particulares, con cada capa compactada con 25 ó 56 golpes de un pisón de 44,5 N (10-lbf) que cae desde una distancia de 457 mm (18 pulg), sometiendo al suelo a un esfuerzo de compactación total de aproximadamente 2700 kN m/m^3 (56 000 pie-lbf/pie³). Se determina el peso unitario seco resultante. El procedimiento se repite con un número suficiente de contenidos de agua para establecer una relación entre el peso unitario seco y el contenido de agua del suelo. Este dato, cuando se plotea, representa una relación curvilínea conocida como curva de compactación. Los valores del óptimo contenido de agua y el máximo peso unitario seco modificado se determinan en base a la curva de compactación.

6 Importancia y uso

6.1 El suelo tomado como relleno de ingeniería (terraplén, rellenos de cimentación, bases para caminos) se compacta a un estado denso para obtener propiedades satisfactorias de ingeniería tales como, resistencia al esfuerzo de corte, compresibilidad o permeabilidad. También, los suelos de cimentación son compactados generalmente para mejorar sus propiedades de ingeniería. Los ensayos de compactación en laboratorio proporcionan las bases para determinar el porcentaje de compactación y el contenido de agua que se necesita para obtener las propiedades de ingeniería requerida, y para el control de la construcción para asegurar la obtención de la compactación requerida y los contenidos de agua.

6.2 Durante el diseño de los rellenos de ingeniería, se utilizan los ensayos de corte, consolidación, permeabilidad, u otros ensayos que requieren preparación de especímenes de ensayo compactando a algún contenido de agua para algún peso unitario. Es práctica común determinar primero el contenido de agua óptimo (w_0) y el peso unitario seco máximo ($\gamma_{dm\acute{a}x}$) mediante un ensayo de compactación. Los especímenes de ensayo son compactados a un contenido de agua seleccionado (w), sea del lado húmedo o seco del óptimo (w_0) o al óptimo (w_0), y a un peso unitario seco seleccionado relativo a un porcentaje del peso unitario seco máximo ($\gamma_{dm\acute{a}x}$). La selección del contenido de agua (w), sea del lado húmedo o seco del óptimo (w_0) o al óptimo (w_0) y el peso unitario seco ($\gamma_{dm\acute{a}x}$) se debe basar en experiencias pasadas, o se deberá investigar una serie de valores para determinar el porcentaje necesario de compactación.

7 Aparatos

7.1 Ensamblaje del molde: Los moldes deben ser cilíndricos, hechos de material rígido y con la capacidad y dimensiones que se indican en 7.1.1 ó 7.1.2 y Figuras. 1 y 2. Las paredes del molde deberán ser sólidas, partidas, o ahusadas. El tipo “partido” deberá tener dos medias secciones circulares, o una sección de tubo dividido a lo largo de un elemento, que se puede cerrar de forma segura formando un cilindro que reúna los requisitos de esta sección. El tipo “ahusado” debe tener un diámetro interno tipo tapa que sea uniforme y no mida más de 16,7 mm/m (0,200 pulg/pie) de la altura del molde. Cada molde tienen un plato base y un collar de extensión ensamblado, ambos de metal rígido y construido de modo que se puedan adherir de forma segura y fácil de desmoldar. El ensamblaje collar de extensión debe tener una altura que sobrepase la parte más alta del molde por lo menos 50,8 mm (2,0 pulg) con una sección superior que sobrepasa para formar un tubo con una sección cilíndrica recta de por lo menos 19,0 mm (0,75 pulg) por debajo de ésta.

El collar de extensión debe alinearse con el interior del molde. La parte inferior del plato base y del área central ahuecada que acepta el molde cilíndrico debe ser plana.

7.1.1 Molde de 4 pulg: Un molde que tenga un promedio de 101,6 mm \pm 0,4 mm (4,000 pulg \pm 0,016 pulg) de diámetro interior promedio, una altura de 116,4 mm \pm 0,5 mm (4,584 pulg \pm 0,018 pulg) y un volumen de 944 cm³ \pm 14 cm³ (0,0333 pie³ \pm 0,0005 pie³). En la Figura 1 se muestra el ensamblaje del molde con los requisitos mínimos.

7.1.2 Molde de 6 pulg: Un molde que tenga un promedio de 152,4 mm \pm 0,7 mm (6,000 pulg \pm 0,026 pulg) de diámetro interior promedio, una altura de 116,4 mm \pm 0,5 mm (4,584 pulg \pm 0,018 pulg), y un volumen de 2124 cm³ \pm 25 cm³ (0,075 pie³ \pm 0,0009 pie³). En la Figura 2 se muestra el ensamblaje del molde con los requisitos mínimos.

7.2 Pisón: Un pisón, que también puede ser operado manualmente como se indica en 7.2.1 o mecánicamente como se indica en 7.2.2. El pisón debe caer libremente a una distancia de 1 457,2 mm \pm 1,6 mm (8 pulg \pm 0,05 pulg) de la superficie del espécimen. La masa del pisón debe ser de 4,54 kg \pm 0,01 kg (10 lbm \pm 0,02 lbm), salvo que las masas de los pisones mecánicos se ajusten como se indica en el método de ensayo ASTM D2168 (véase nota 5). La cara del pisón que golpea debe ser plana y circular, salvo como se indica en el 7.2.2.3, con un diámetro cuando sea nuevo de 50,80 mm \pm 0,13 mm (2,000 pulg \pm 0,005 pulg). Se debe reemplazar el pisón si la cara que golpea se desgasta o se deforma al punto que el diámetro sobrepase los 50,80 mm \pm 0,25 mm (2,000 pulg \pm 0,01 pulg).

NOTA 5: Es una práctica común y aceptable en el sistema pulgada-libra asumir que la masa del pisón es igual a su masa determinada utilizando sea una balanza en kilogramo o libra y 1 lbf es igual a 1 lbm ó 0,4536 kg ó 1 N es igual a 0,2248 lbm o a 0,1020 kg .

7.2.1 Pisón Manual: El pisón debe equiparse con una guía que tenga suficiente juego de modo que la caída libre del pisón y la cabeza no sea restringida. La guía debe tener por lo menos cuatro orificios de ventilación en cada extremo (ocho huecos en total) localizados con centros de $19,0 \text{ mm} \pm 1,6 \text{ mm}$ ($\frac{3}{4}$ pulg $\pm 1/16$ pulg) de cada extremo y espaciados a 90 grados. El diámetro mínimo de los orificios de ventilación debe ser de 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ pulg) Se podrían añadir orificios adicionales o ranuras en el tubo guía.

7.2.2 Pisón mecánico circular: El pisón debe operar mecánicamente de manera que proporcione una cobertura uniforme y completa de la superficie del espécimen. Deberá haber una holgura de $2,5 \text{ mm} \pm 0,8 \text{ mm}$ entre el pisón y la superficie interior del molde en su diámetro más pequeño. El pisón mecánico debe reunir los requisitos de calibración del método de ensayo ASTM D2168. El pisón mecánico debe ser equipado con medios mecánicos positivos para soportar el pisón cuando no se utilice.

7.2.2.3 Pisón mecánico: Cuando se utiliza un molde de 152,4 mm (6,0 pulg), un sector de la cara del pisón se debe utilizar en lugar de la cara circular. La cara que contacta el espécimen debe tener la forma de un sector de un círculo de radio igual a $73,7 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ (2,90 pulg $\pm 0,02$ pulg). El pisón debe operar de modo que los orificios del sector se sitúen en el centro del espécimen.

7.3 Extractor de muestras (opcional): Puede ser un gato, estructura u otro aparato adaptado para extraer los especímenes compactados del molde.

7.4 Balanza: Una balanza tipo GP5 que reúna los requisitos de la especificación ASTM D4753 para una aproximación de 1-g .

7.5 Horno de secado: Con control termostático, preferiblemente del tipo de ventilación forzada y con la capacidad de mantener una temperatura uniforme de $110 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ($230 \text{ }^{\circ}\text{F} \pm 9 \text{ }^{\circ}\text{F}$) a través de la cámara de secado.

7.6 Regla recta: Una regla recta de metal rígido de una longitud adecuada pero no menor de 254 mm (10 pulg). La longitud total de la regla recta debe ajustarse directamente a una tolerancia de $\pm 0,1$ mm (0,005 pulg). El borde de arrastre debe ser biselado si es más grueso que 3 mm (1/8 pulg).

7.7 Tamices: De 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ pulg), 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ pulg) y No. 4 (4,75 mm) conforme a los requisitos de la especificación ASTM E11.

7.8 Diferentes Herramientas: Diversas herramientas tal como mortero, cucharas, paleta, espátula, botellas de spray, entre otros o un aparato mecánico apropiado para la mezcla de muestras de suelo con incrementos de agua.

8 Muestra del ensayo

La masa de la muestra requerida para los procedimientos A y B es de aproximadamente 16 kg (35 lbm) y para el procedimiento C es aproximadamente de 29 kg (65 lbm) del suelo seco. Debido a esto, la muestra de campo debe tener una masa húmeda mínima de 23 kg (50 lbm) y 45 kg (100 lbm) respectivamente.

Determine adecuadamente el porcentaje del material retenido en el tamiz No. 4 (4,75 mm), 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ pulg) o 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ pulg) para escoger el procedimiento A, B o C, separando una porción representativa de la muestra total y determinando los porcentajes que pasan las mallas de interés mediante el método de ensayo NTP 339.128 ó ASTM C136. Sólo es necesario calcular los porcentajes para un tamiz o tamices de la información que se desea.

9 Preparación del aparato

9.1 Seleccione un molde de compactación apropiado que se va a utilizar de acuerdo con el procedimiento (A, B, o C). Determine y registre su masa con aproximación a 1 g. Ensamble el molde, base y collar de extensión. Revise el alineamiento de la pared interior y del molde y del collar de extensión del molde. Haga ajustes si es necesario.

9.2 Revise que el ensamblado del pisón trabaje en buenas condiciones y que sus partes no estén flojas o gastadas. Realice cualquier ajuste o reparación necesaria, si es así, antes de comenzar el ensayo.

10 Calibración

Calibre: los siguientes aparatos antes del uso inicial, después de reparaciones u otras acciones que puedan afectar los resultados del ensayo, en intervalos que no excedan de 1000 muestras ensayadas, o anualmente, cualquiera que ocurra primero:

10.1 Balanza: Evalúe de acuerdo a la especificación ASTM D4753.

10.2 Moldes: Determine el volumen como se describe en el Anexo A1.

10.3 Pisón manual: Verifique la distancia de la caída libre, masa del pisón, y la cara del pisón de acuerdo con 7.2. Verifique los requisitos de la guía de acuerdo con 7.2.1.

10.4 Pisón Mecánico: Calibre y ajuste el pisón mecánico de acuerdo al método de ensayo ASTM D2168. Además, la holgura entre el pisón y la superficie interior del molde debe ser verificada de acuerdo a 6.2.2.

11 Procedimientos

11.1 Suelos

11.1.1 No vuelva a utilizar suelo que ha sido previamente compactado en laboratorio.

11.1.2 Utilice el método de preparación húmeda, cuando se ensaye con suelos que contienen hallosita hidratada, o donde la experiencia con determinados suelos indica que los resultados pueden ser alterados por el secado al aire (véase 10.2).

11.1.3 Prepare los especímenes del suelo para el ensayo de acuerdo con 11.2 (de preferencia) o con 11.3.

11.2 Método de Preparación Húmeda (preferible): Sin secado previo de la muestra, páselo a través del tamiz N° 4 (4.75-mm), 9.5 mm (3/8 pulg.) o 19.0 mm (3/4 pulg.), en base al procedimiento (A, B, C) que se va a utilizar. Determine el contenido de agua del suelo procesado.

11.2.1 Prepare mínimo cuatro (preferible cinco) especímenes con contenidos de agua de modo que éstos tengan un contenido de agua lo más cerca al óptimo. Un espécimen que tiene un contenido de agua cerca al óptimo debe ser preparado primero, añadiendo al cálculo agua y mezcla (véase nota 6). Seleccione contenidos de agua para el resto de los especímenes que resulten por lo menos en dos especímenes húmedos y dos secos de acuerdo al contenido óptimo de agua, que varíen alrededor del 2 % . Como mínimo es necesario dos contenidos de agua en el lado seco y húmedo del óptimo para definir exactamente la curva de compactación del peso seco unitario (véase 11.5). Algunos suelos con un contenido de agua óptimo muy alto o una curva de compactación relativamente plana requerirán grandes incrementos de contenido de agua para obtener un peso unitario seco máximo bien definido. Los incrementos de contenido de agua no deberán exceder al 4 % .

NOTA 6: Con la práctica generalmente es posible juzgar visualmente un punto cerca al contenido de agua óptimo. Generalmente, un suelo en un contenido de agua óptimo puede formar un terrón que se mantiene unido cuando se libera la presión, pero puede quebrarse limpiamente en dos secciones cuando se dobla. En contenidos de agua del lado seco del óptimo, los suelos tienden a desintegrarse; del lado húmedo óptimo, se mantienen unidos en una masa cohesiva pegajosa. Un contenido de agua óptimo es en general ligeramente menor que el límite plástico.

11.2.2 Utilice aproximadamente 2,3 kg (5 lbm) de suelo tamizado en cada espécimen que se compactará utilizando el procedimiento A ó B, ó 5,9 kg (13 lbm) cuando se utilice el procedimiento C. Para obtener los contenidos de agua del espécimen que se indica en el 11.2.1, añada o remueva las cantidades requeridas de agua de la siguiente manera: Añada poco a poco el agua al suelo durante la mezcla; para sacar el agua, deje que el suelo se seque en el aire a una temperatura de ambiente o en un aparato de secado de modo que la temperatura de la muestra no exceda de 60 °C (140 °F). Mezcle continuamente el suelo durante el secado para mantener la distribución del contenido de agua. Mezcle minuciosamente cada espécimen para asegurar también la distribución del agua en todas partes y luego colóquelo aparte en un contenedor con tapa y ubíquelo de acuerdo con la Tabla 1 antes de la compactación. Para seleccionar un tiempo de espera, el suelo debe ser clasificado mediante el método de ensayo NTP 339.134, la Práctica ASTM D2488 o los datos de otras muestras del mismo material. Para ensayos de determinación, la clasificación deberá realizarse mediante el método de ensayo NTP 339.134.

11.3 Método de Preparación en Seco: Si la muestra está muy húmeda, reduzca el contenido mediante el secado al aire. El secado deberá ser al aire o utilizando un aparato de secado de modo que la temperatura de la muestra no exceda de 60 °C (140 °F). Quiebren en muchas partes los agregados pero sin quebrar las partículas individuales. Pase el material a través de un tamiz apropiado: No. 4 (4,75 mm), 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ pulg), o 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ pulg). Cuando prepare el material por el tamiz de $\frac{3}{4}$ pulg para la compactación en un molde de 6 pulg, quiebren los agregados de modo que pasen por el tamiz de $\frac{3}{8}$ de pulg para que facilite la distribución del agua por todo el suelo en una próxima mezcla.

11.3.1 Prepare, mínimo cuatro (preferible cinco) especímenes de acuerdo al 11.2.1

11.3.2 Utilice aproximadamente 2,3 kg (5 lbm) del suelo tamizado para cada espécimen que será compactado con el procedimiento A o B o 5,9 kg (13 lbm) utilizando el procedimiento C. Añada las cantidades requeridas de agua para que los contenidos de agua de los especímenes tengan los valores descritos en el 11.3.1. Siga con el procedimiento de preparación del espécimen descrito en el 11.2.2 para los suelos secos o añada agua en el suelo y cure cada muestra de ensayo.

11.4 Compactación: Después de la curación, si se requiere, cada espécimen se compactará de la siguiente manera:

11.4.1 Determine y registre la masa del molde o del molde y el plato base.

11.4.2 Ensamble y asegure el molde y el collar al plato base. El molde debe descansar en un cimiento rígido y uniforme que tenga un cilindro o cubo de concreto con una masa no menor a 91 kg (200 lbm). Asegure el plato base al cimiento rígido. El método de unión al cimiento rígido deberá permitir un desmolde fácil del molde ensamblado, el collar y el plato base después de que se concluya la compactación.

Compacte el espécimen en cinco capas. Después de la compactación, cada capa deberá tener casi el mismo grosor. Antes de la compactación, coloque el suelo desmenuzado en el molde y distribúyalo en una capa de espesor uniforme. Suavemente apisone el suelo antes de la compactación hasta que no esté esponjoso ni suelto, utilizando el pisón de compactación manual o un cilindro de 5 mm de diámetro (2 pulg). Prosiga con la compactación de cada una de las cuatro primeras capas, cualquier suelo adyacente a las paredes del molde que no ha sido compactado o extendido en la superficie compactada debe ser recortados.

El suelo recortado debe incluirse con el suelo adicional para la siguiente capa. Se debe usar un cuchillo u otro aparato parecido. La cantidad total del suelo utilizado deberá ser tal que la quinta capa compactada se extienda ligeramente en el collar, pero que no exceda más de 6 mm ($\frac{1}{4}$ pulg) de la parte superior del molde. Si la quinta capa sobrepasa la parte superior del molde más de 6 mm ($\frac{1}{4}$ pulg), se debe desechar el espécimen. El espécimen debe ser descartado cuando el último golpe del pisón de la quinta capa resulta en la parte inferior del pisón por debajo de la parte superior del molde de compactación.

11.4.4 Compacte cada capa con 25 golpes para el molde de 101,6 mm (4 pulg) o con 56 golpes para un molde de 152,4 mm (6 pulg).

NOTA 7: Cuando los especímenes de compactación se humedecen más que el contenido de agua óptimo, pueden producirse superficies compactadas irregulares y se requerirá del juicio del operador para la altura promedio del espécimen.

11.4.5 Al operar el pisón manual, tenga cuidado de evitar la elevación de la guía mientras el pisón sube. Mantenga la guía firme y a 5° de la vertical. Aplique los golpes un nivel uniforme de 25 golpes/minuto aproximadamente de modo que se asegure una cobertura completa y uniforme de la superficie del espécimen.

11.4.6 Continúe con la compactación de la última capa, remueva el collar y el plato base del molde, excepto como se especifica en 11.4.7. Se debe utilizar un cuchillo para cortar el suelo adyacente del collar para soltar el suelo del collar antes de removerlo y evitar el desgarro del suelo bajo la parte superior del molde.

11.4.7 Corte cuidadosamente el espécimen compactado incluso en la parte superior e inferior del molde mediante una regla recta a través de la parte superior e inferior del molde para formar una superficie plana incluso en la parte superior e inferior del molde. Un corte inicial en el espécimen en la parte superior del molde con un cuchillo puede prevenir la caída del suelo por debajo de la parte superior del molde. Rellene cualquier hueco en cada superficie con suelo cortado o no utilizado del espécimen, presiónelo con los dedos, y vuelva a raspar la regla recta a través de la parte superior e inferior del molde. Repita las operaciones anteriores en la parte inferior del espécimen cuando se halla determinado el volumen del molde sin el plato base. Para suelos muy húmedos o secos, se perderá suelo o agua si el plato base se remueve. En esta situación, deje el plato base unido al molde. Cuando se deja unido al plato base, el volumen del molde debe ser calibrado con el plato base unido al molde o a un plato de plástico o de vidrio como se especifica en el Anexo A1 (A1.4.1).

11.4.8 Determine y registre la masa del espécimen con aproximación al gramo.

Cuando se deja unido el plato base, determine y registre la masa del espécimen, molde y plato base con aproximación al gramo.

11.4.9 Remueva el material del molde. Obtenga un espécimen para el contenido de agua utilizando todo el espécimen (se prefiere éste método) o una porción representativa. Cuando se utiliza todo el espécimen, quíbrelo para facilitar el secado. De otra manera, obtenga una porción dividiendo el espécimen compactado axialmente a través del centro y removiendo 500 g. del material de los lados cortados. Obtenga el contenido de agua de acuerdo al método de ensayo NTP 339.127.

12 Cálculos

12.1 Calcule el peso unitario seco y el contenido de agua de cada espécimen compactado como se explica en 12.3 y 12.4. Plotee los valores y dibuje la curva de compactación como una curva llana a través de los puntos (véase ejemplo, Figura 3). Plotee el peso unitario seco con aproximación a $0,2 \text{ kN/m}^3$ ($0,1 \text{ lbf/pe}^3$) y el contenido de agua lo más cerca al 0,1 %. En base a la curva de compactación, determine el contenido de agua óptimo y el peso unitario seco máximo. Si más del 5 % del peso del material de gran tamaño se remueve de la muestra, calcule el contenido de agua óptimo y el peso unitario seco máximo corregido del material total utilizando la Práctica ASTM D4718. Esta corrección debe hacerse en el espécimen de ensayo de densidad de campo, más que al espécimen de ensayo de laboratorio.

12.2 Plotee la curva del 100 % de saturación. Los valores del contenido de agua para un 100 % de saturación pueden ser calculados como se explica en 12.5 (véase ejemplo, Figura 3).

NOTAS 8: La curva de 100 % de saturación es una ayuda al diseñar la curva de compactación. Los suelos que contienen más del 10 % de finos aproximadamente a contenidos de agua que superan el óptimo, las dos curvas generalmente llegan a ser casi paralelas con el lado húmedo de la curva de compactación entre el 92 % al 95 % de saturación. Teóricamente, la curva de compactación no puede ser ploteada a la derecha de la curva de 100 % de saturación. Si esto ocurre, habría error en la gravedad específica, en las mediciones, en los cálculos, en procedimientos de ensayo o en el ploteo.

NOTA 9: La curva de 100 % de saturación se denomina a veces como curva de relación de vacíos cero o como curva de saturación completa.

12.3 Contenido de agua, w : Calcule de acuerdo al método de ensayo NTP 339.127.

12.4 Pesos Unitarios secos: Calcule la densidad húmeda (Ec.1), la densidad seca (Ec.2) y luego el peso unitario seco (Ec.3) como sigue:

$$\rho_m = 1000 (M_t - M_{md}) / V \quad (1)$$

donde:

ρ_m = densidad húmeda del espécimen compactado, Mg/m^3 .

M_t = masa del espécimen húmedo y molde, kg.

M_{md} = Masa del molde compactado, kg, y

V = volumen del molde de compactación, m^3 (ver Anexo A1).

$$\rho_d = \rho_m (1 + w/100) \quad (2)$$

donde:

ρ_d = densidad seca del espécimen compactado, Mg/m^3 y

w = contenido de agua, %

$$\gamma_d = 62.43 \rho_d \quad \text{en} \quad \text{lbf} / \text{ft}^3 \quad (3)$$

$$\gamma_d = 9.807 \rho_d \quad \text{en} \quad \text{kN} / \text{m}^3$$

donde:

γ_d = peso unitario seco del espécimen compactado.

12.5 Para calcular los puntos para el ploteo de la curva del 100 % de saturación o curva de relación de vacíos cero del peso unitario seco, seleccione los valores correspondientes del peso unitario seco, calcule los valores correspondientes de contenido de agua a la condición del 100 % de saturación como sigue:

$$w_{sat} = \frac{(\gamma_w)G_s - \gamma_d}{(\gamma_d)(G_s)} \times 100 \quad (4)$$

donde:

w_{sat} = contenido de agua para una completa saturación, %
 γ_w = peso unitario del agua, 62.43 lbf/pie³ (9.807 kN/m³)
 γ_d = peso unitario seco del suelo, y
 G_s = gravedad específica del suelo

NOTA 10: Se debe calcular la gravedad específica de la muestra ensayada en base a los datos del ensayo de otras muestras de la misma clasificación de suelo y fuente. De otro modo sería necesario el ensayo de gravedad específica (Método de Ensayo NTP 339.131).

13 Informe

13.1 Reporte de la siguiente información:

13.1.1 Procedimiento utilizado (A, B, ó C).

13.1.2 Método de preparación utilizado (húmedo o seco)

13.1.3 El contenido de agua recibido, si se determinó.

13.1.4 Contenido de agua óptimo modificado, con aproximación al 0,5 % .

13.1.5 Peso unitario seco máximo modificado, con aproximación a 0,5 lbf/pie³.

13.1.6 Descripción del pisón (manual o mecánico).

13.1.7 Datos del tamizado del suelo cuando se aplica en la determinación del procedimiento (A, B, ó C).

13.1.8 Descripción del material utilizado en el ensayo mediante la práctica ASTM D2488 o clasificación mediante el método de ensayo NTP 339.134.

13.1.9 Gravedad específica y método de determinación.

13.1.10 Origen del material utilizado en el ensayo, por ejemplo, proyecto, lugar, profundidad, entre otros.

13.1.11 Ploteo de la curva de compactación mostrando los puntos de compactación utilizados para establecer la curva de compactación, y la curva de 100 % de saturación, punto del peso unitario seco máximo y el contenido de agua óptimo.

13.1.12 Datos de la corrección de sobredimensión, si se utiliza, incluyendo la fracción de sobredimensión (fraccionamiento grueso), P_c en % .

14 Precisión y confiabilidad

14.1 **Precisión:** Todos los datos están siendo evaluados para determinar la precisión de este método de ensayo. Además los datos pertinentes están siendo solicitados por los usuarios de este método de ensayo.

14.2 **Confiabilidad:** No es posible obtener información sobre la confiabilidad, ya que no existe otro método para determinar los valores del peso unitario seco máximo y el contenido de agua óptimo modificados.

15 Palabras claves

Características de Compactación; densidad; compactación por impactos utilizando un esfuerzo modificado; ensayos de laboratorio; ensayo de proctor modificado; curvas de humedad – densidad; compactación de suelo.

16 Antecedente

ASTM D1557-91	Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soils Using Modified Effort (2,700 kN-m/m3 (56,000 pie-lb/pie3))
---------------	---

PROHIBIDA SU REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL

ANEXO

(Normativo)

A1. VOLUMEN DEL MOLDE DE COMPACTACIÓN

A1.1 Alcance

A1.1.1 Este anexo describe el procedimiento para determinar el volumen del molde de compactación.

A2.1.2 El volumen se determina mediante el método de llenado de agua y revisado mediante el método de la medición lineal.

A1.2 Aparatos

A1.2.1 Además del aparato que se indica en la Sección 6, se requiere lo siguiente:

A1.2.1.1 Vernier o Caliper de Dial, que tenga una rango de medición de por lo menos de 0 a 150 mm (0 a 6 pulg) y sensibilidad de 0,02 mm (0,001 pulg)

A1.2.1.2 Micrómetro interior.- que tenga una rango de medición de por lo menos de 50 a 300 mm (2 a 12 pulg) y sensibilidad de 0,02 mm (0,001 pulg).

A1.2.1.3 Platos plásticos o de vidrio.- Dos platos plásticos o de vidrio de aprox. 200 mm² por 6 mm de grosor (8 pulg² por ¼ pulg)

A1.2.1.4 Termómetro.- De 0 a 50 °C , de graduación de 0.5 °C conforme a los requisitos de la especificación ASTM E1.

A1.2.1.5 Llave de cierre engrasado o un sellador similar.

A1.2.1.6 Diferentes equipos.- jeringa bombilla, toallas, entre otros

A1.3 Precauciones

Realice el procedimiento en un área aislada de la corriente de aire o de fluctuaciones de extrema temperatura.

A1.4 Procedimiento

A1.4.1 Método de Llenado de Agua:

A1.4.1.1 Engrase ligeramente la parte inferior del molde de compactación y colóquelo en uno de los platos plásticos o de vidrio. Engrase ligeramente la parte superior del molde. Tenga cuidado de no engrasar el interior del molde. Si es necesario utilizar el plato base, como se indica en el 11.4.7, coloque el molde engrasado en el plato base y asegúrelo con los pernos de cierre.

A1.4.1.2 Determine la masa del molde engrasado y de los platos de plástico y vidrio lo más cerca a 1 g (0,01 lbm) y regístrelo. Cuando se utiliza el plato base para unir el plástico inferior o el plato de vidrio, determine la masa del molde, el plato base y el plato simple de plástico o vidrio que se usará en la parte superior del molde lo más cerca a 1 g (0,01 lbm) y regístrelo.

A1.4.1.3 Coloque el molde y el plato inferior en una superficie nivelada, firme y llene el molde con agua ligeramente hasta sobre su borde.

A1.4.1.4 Deslice el segundo plato sobre la parte superior de la superficie del molde de manera que el molde quede completamente lleno con agua pero sin burbujas de aire. Añada o remueva agua si es necesario con la jeringa bombilla.

A1.4.1.5 Seque completamente cualquier exceso de agua de la parte exterior del molde y de los platos.

A1.4.1.6 Determine la masa del molde, platos y agua y regístrelo lo más cerca a 1 g (0,01 lbm).

A1.4.1.7 Determine la temperatura del agua en el molde lo más cerca a 1 °C y regístrelo. Determine y registre la densidad absoluta del agua de la Tabla A1.1.

A1.4.1.8 Calcule la masa del agua en el molde mediante la sustracción de la masa determinada en el A1.4.1.6

A1.4.1.9 Calcule el volumen del agua dividiendo la masa del agua por la densidad del agua y registrándola lo más cerca a 1 cm³ (0,0001 pie³).

A1.4.1.10 Cuando se utiliza el plato base para la calibración del volumen del molde repita los pasos del A1.4.1.3 al A1.4.1.9.

A1.4.2 Método de Medición Lineal:

A1.4.2.1 Utilice el caliper de vernier o el micrómetro interior, mida el diámetro del molde seis veces en la parte superior del molde y seis veces en la parte inferior del molde espaciando cada seis mediciones superiores e inferiores equitativamente alrededor de la circunferencia del molde. Registre los valores lo más cerca a 0,02 mm (0,001 pulg).

A1.4.2.2 Utilice el caliper de vernier, mida la altura interior del molde realizando tres mediciones iguales espaciadas alrededor de la circunferencia del molde. Registre los valores a 0,02 mm (0,001 pulg).

A1.4.2.3 Calcule el promedio del diámetro superior, promedio del diámetro inferior y el promedio de la altura.

A1.4.2.4 Calcule el volumen del molde y regístrelo lo más cerca a 1 cm³(0,0001 pie³) utilizando la Ec. A1a (para pulg-libra) ó A1b (para SI).

$$V = \frac{(\pi)(h)(d_t + d_b)^2}{(16)(1728)}$$

A1a

$$V = \frac{(\pi)(h)(d_t + d_b)^2}{(16)(10^3)}$$

A1b

donde:

V = volumen del molde, cm³ (pie³).

h = promedio de altura, mm (pulg)

d_t = promedio del diámetro superior, mm (pulg)

d_b = promedio del diámetro inferior, mm (pulg)

1/1728 = constante de conversión pulg³ a pie³ y

1/10³ = constante de conversión mm³ a cm³.

A1.5 Comparación de resultados

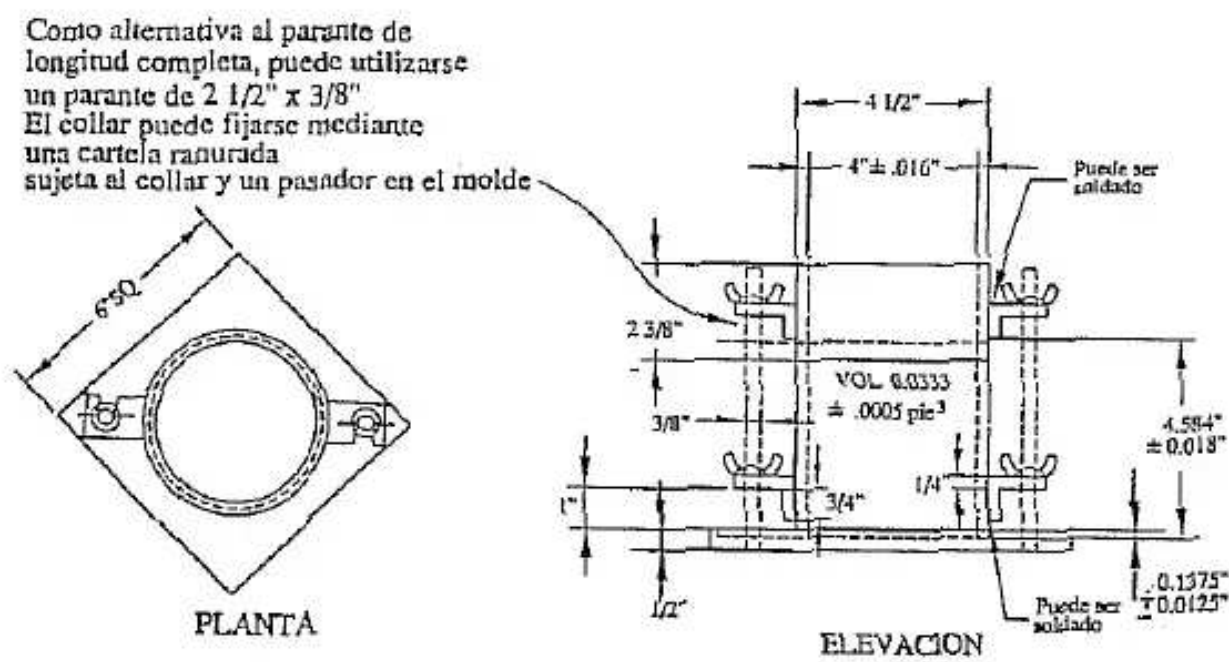
A1.5.1 El volumen obtenido por ambos métodos deberá estar dentro de la tolerancia de los requisitos de 7.1.1 y 7.1.2.

A1.5.2 La diferencia entre los dos métodos no debe exceder del 0,5 % del volumen nominal del molde.

A1.5.3 Repita la determinación del volumen si no se consigue cumplir con los requisitos.

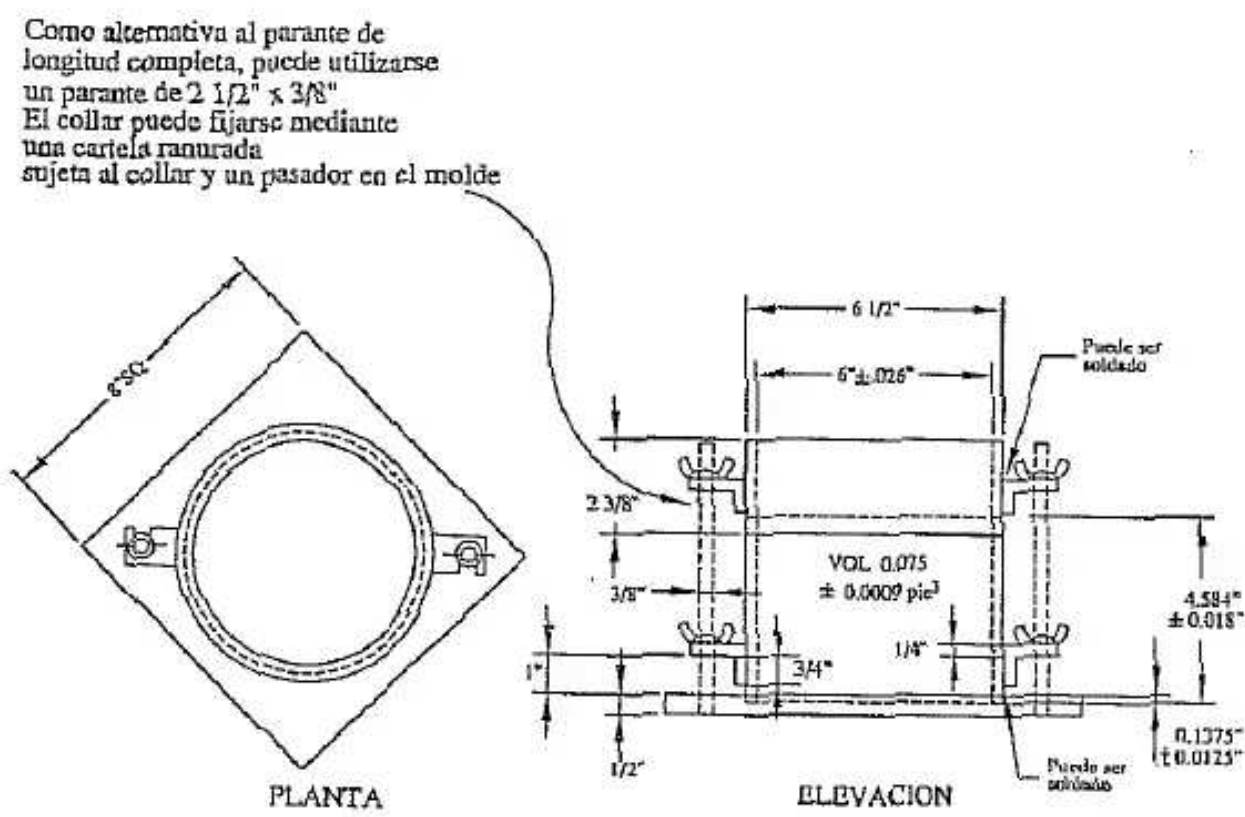
A1.5.4 La falla en la obtención de un acuerdo satisfactorio entre los dos métodos incluso después de varias tentativas, es una indicación que el molde se deforma demasiado y debe ser reemplazado.

A1.5.5 Utilice el volumen del molde determinado usando el método de llenado de agua como el valor de volumen asignado para los cálculos de la densidad húmeda y seca (véase 12.4)



VER TABLA 2 PARA EQUIVALENTES METRICOS

Figura 1 - Molde cilíndrico. 4,0 pulg



Ver Tabla 2 para equivalentes métricos

Figura 2 - Molde cilíndrico, 6,0 pulg

Tabla 1 - Tiempo de permanencia requerido de especímenes en saturación

Clasificación	Tiempo de permanencia mínimo, h
GW, GP, SW, SP	No se requiere
GM, SM	3
Todos los demás suelos	16

Tabla 2 - Equivalentes métricos para las Figura 1 y 2

Pulgadas	mm
0.016	0,41
0.026	0,66
0.032	0,81
1/2	12,70
2 1/2	63,50
2 5/8	66,70
4	101,60
4 1/2	114,30
4 5/8	116,43
4 3/4	120,60
6	152,40
6 1/2	165,10
6 5/8	168,30
6 3/4	171,40
8 1/4	208,60
Pie³	cm³
1/30 (0,0333)	943
0,05	14
1/13.333 (0,0750)	2,124
0,0011	31

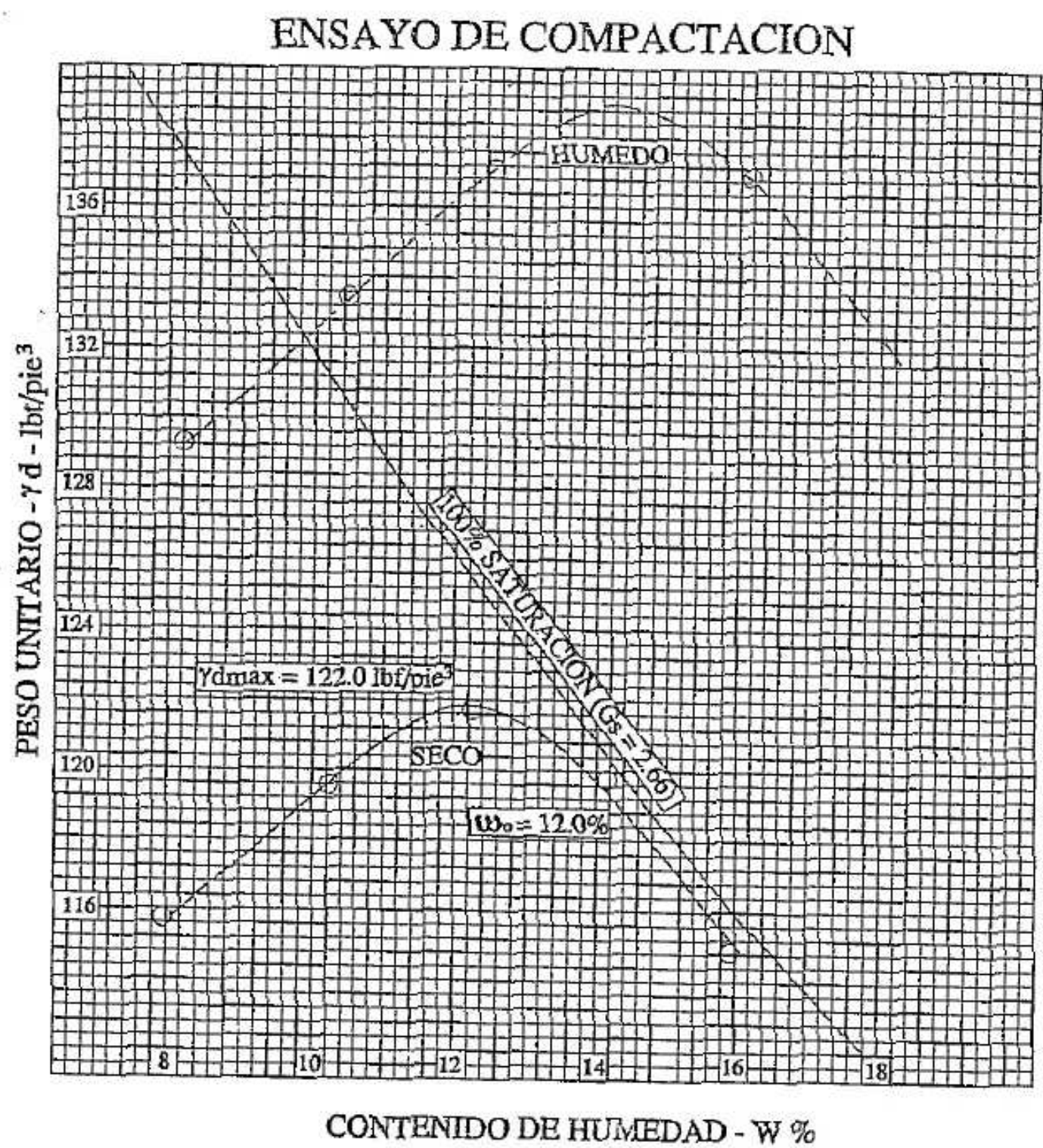


Figura 3 – Ejemplo de gráfico de curva de compactación

Tabla A.1.1 – Densidad del agua

Temperatura, °C (°F)	Densidad del agua, g/ml
18 (64,4)	0,99862
19 (66,2)	0,99843
20(68,0)	0,99823
21 (69,8)	0,99802
22 (71,6)	0,99779
23 (73,4)	0,99456
24 (75,2)	0,99733
25 (77,0)	0,99707
26 (78,8)	0,99681