

## SECCIÓN 100 - SUELOS

I.N.V. E - 101	INVESTIGACIÓN DE SUELOS Y ROCAS PARA PROPÓSITOS DE INGENIERÍA
I.N.V. E - 102	DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE SUELOS (PROCEDIMIENTO VISUAL Y MANUAL)
I.N.V. E - 103	CONSERVACIÓN Y TRANSPORTE DE MUESTRAS DE SUELOS
I.N.V. E - 104	TOMA DE MUESTRAS INALTERADAS DE SUELO EN SUPERFICIE
I.N.V. E - 105	OBTENCIÓN DE MUESTRAS DE SUELO MEDIANTE TUBOS DE PARED DELGADA
I.N.V. E - 106	PREPARACIÓN EN SECO DE MUESTRAS DE SUELO POR VÍA SECA PARA ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Y DETERMINACIÓN DE LAS CONSTANTES FÍSICAS
I.N.V. E - 107	PREPARACIÓN EN SECO DE MUESTRAS DE SUELO POR VÍA HÚMEDA PARA ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Y DETERMINACIÓN DE LAS CONSTANTES FÍSICAS
I.N.V. E - 108	PERFORACIONES CON BROCAS Y MUESTREO PARA INVESTIGACIONES EN EL SITIO
I.N.V. E - 109	MUESTREO DE SUELOS CON TUBO PARTIDO DE PARED GRUESA Y REVESTIMIENTO DE ANILLOS
I.N.V. E - 111	ENSAYO NORMAL DE PENETRACIÓN (SPT) Y MUESTREO DE SUELOS CON TUBO PARTIDO
I.N.V. E - 112	EXPLORACIÓN Y MUESTREO DE SUELOS MEDIANTE BARRENAS
I.N.V. E - 113	CONSERVACIÓN Y TRANSPORTE DE NÚCLEOS DE ROCA
I.N.V. E - 120	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE CAMBIO VOLUMÉTRICO DE UN SUELO EMPLEANDO EL APARATO DE LAMBE
I.N.V. E - 121	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ORGÁNICO DE UN SUELO MEDIANTE EL ENSAYO DE PÉRDIDA POR IGNICIÓN

I.N.V. E - 122	DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO, ROCA Y MEZCLAS DE SUELO -AGREGADO
I.N.V. E - 123	DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS
I.N.V. E - 125	DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS
I.N.V. E - 126	LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS
I.N.V. E - 127	DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE CONTRACCIÓN DE LOS SUELOS
I.N.V. E - 128	DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LAS PARTÍCULAS SÓLIDAS DE LOS SUELOS Y DEL LLENANTE MINERAL, EMPLEANDO UN PICNÓMETRO CON AGUA
I.N.V. E - 129	DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE CONTRACCIÓN DE LOS SUELOS POR EL MÉTODO DE LA PARAFINA
I.N.V. E - 130	PERMEABILIDAD DE SUELOS GRANULARES (CABEZA CONSTANTE)
I.N.V. E - 131	pH DE LOS SUELOS
I.N.V. E - 132	DETERMINACIÓN DE SUELOS EXPANSIVOS
I.N.V. E - 133	EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADOS FINOS
I.N.V. E - 135	MÉTODO PARA DETERMINAR LA HUMEDAD DE LOS SUELOS USANDO EL HORNO MICROONDAS
I.N.V. E - 136	DETERMINACIÓN DE LAS MASAS UNITARIAS MÁXIMA Y MÍNIMA PARA EL CÁLCULO DE LA DENSIDAD RELATIVA
I.N.V. E - 141	RELACIONES DE HUMEDAD - PESO UNITARIO SECO EN LOS SUELOS (ENSAYO NORMAL DE COMPACTACIÓN)
I.N.V. E - 142	RELACIONES DE HUMEDAD - PESO UNITARIO SECO EN LOS SUELOS (ENSAYO MODIFICADO DE COMPACTACIÓN)

I.N.V. E – 143	CORRECCIÓN DEL PESO UNITARIO Y DEL CONTENIDO DE AGUA DE SUELOS QUE CONTIENEN SOBRETAMAÑOS
I.N.V. E – 146	DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE EQUILIBRIO DE LA MASA UNITARIA SECA (DENSIDAD) Y LA HUMEDAD DE UN SUELO DE SUBRASANTE
I.N.V. E – 148	CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO Y SOBRE MUESTRA INALTERADA
I.N.V. E – 150	DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DE SUELOS EMPLEANDO UN PROBADOR CON CARBURO DE CALCIO
I.N.V. E – 151	CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS
I.N.V. E – 152	COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELOS
I.N.V. E – 153	ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL SOBRE SUELOS COHESIVOS
I.N.V. E – 154	ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN CONDICIÓN CONSOLIDADA DRENADA (CD)
I.N.V. E - 156	MODULO RESILIENTE DE SUELOS Y AGREGADOS
I.N.V. E - 157	MEDIDA DEL POTENCIAL DE COLAPSO DE UN SUELO PARCIALMENTE SATURADO
I.N.V. E – 158	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE SALES SOLUBLES EN LOS SUELOS
I.N.V. E - 159	DETERMINACIÓN DE LA SUCCIÓN DE UN SUELO USANDO PAPEL DE FILTRO
I.N.V. E - 161	DENSIDAD Y PESO UNITARIO DEL SUELO EN EL TERRENO POR EL MÉTODO DEL CONO Y ARENA
I.N.V. E - 162	DENSIDAD Y PESO UNITARIO DEL SUELO EN EL TERRENO POR EL MÉTODO DEL BALÓN DE CAUCHO
I.N.V. E - 163	DETERMINACIÓN RÁPIDA DEL PORCENTAJE DE COMPACTACIÓN

I.N.V. E – 164	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD Y DEL CONTENIDO DE AGUA DEL SUELO Y DEL SUELO-AGREGADO EN EL TERRENO EMPLEANDO MEDIDORES NUCLEARES (Profundidad Reducida)
I.N.V. E – 165	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD Y EL PESO UNITARIO DE SUELOS Y ROCAS EN EL TERRENO MEDIANTE REEMPLAZO CON ARENA EN UN POZO DE ENSAYO
I.N.V. E – 168	ENSAYO DE PLACA CON CARGA ESTÁTICA NO REPETIDA SOBRE SUELOS Y CAPAS NO TRATADAS DE PAVIMENTOS, PARA EMPLEAR EN LA EVALUACIÓN Y EL DISEÑO DE PAVIMENTOS
I.N.V. E – 169	RELACIÓN DE SOPORTE DEL SUELO EN EL TERRENO (CBR "IN SITU")
I.N.V. E – 170	ENSAYO DE CORTE EN SUELOS COHESIVOS USANDO LA VELETA DE CAMPO
I.N.V. E- 172	USO DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO EN APLICACIONES DE PAVIMENTOS A POCA PROFUNDIDAD
I.N.V. E – 180	CLASIFICACIÓN DE SUELOS Y DE MEZCLAS DE SUELOS Y AGREGADOS CON FINES DE CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS (SISTEMA AASHTO)
I.N.V. E – 181	SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS PARA PROPÓSITOS DE INGENIERÍA
I.N.V. E – 182	CLASIFICACIÓN DE LA FRACCIÓN FINA DE UN SUELO A PARTIR DE SU VALOR DE AZUL DE METILENO



## FACTORES DE CONVERSIÓN DE UNIDADES

<b>CONVERSIONES APROXIMADAS A UNIDADES SI</b>					
Para convertir		Multiplicar por	Para convertir		Multiplicar por
de	a		de	a	
<b>LONGITUD</b>			<b>LONGITUD</b>		
pulgadas	milímetros	25.4	milímetros	pulgadas	0.039
pies	metros	0.305	metros	pies	3.28
yardas	metros	0.914	metros	yardas	1.09
millas	kilómetros	1.61	kilómetros	millas	0.621
<b>ÁREA</b>			<b>ÁREA</b>		
pulgadas cuadradas	milímetros cuadrados	645.2	milímetros cuadrados	pulgadas cuadradas	0.0016
pies cuadrados	metros cuadrados	0.093	metros cuadrados	pies cuadrados	10.764
Yardas cuadradas	metros cuadrados	0.836	metros cuadrados	Yardas cuadradas	1.196
millas cuadradas	kilómetros cuadrados	2.59	kilómetros cuadrados	millas cuadradas	0.386
<b>VOLUMEN</b>			<b>VOLUMEN</b>		
onzas fluidas	mililitros	29.57	mililitros	onzas fluidas	0.034
galones	litros	3.785	litros	galones	0.264
pies cúbicos	metros cúbicos	0.028	metros cúbicos	pies cúbicos	35.31
yardas cúbicas	metros cúbicos	0.765	metros cúbicos	yardas cúbicas	1.308
<b>MASA</b>			<b>MASA</b>		
onzas	gramos	28.35	gramos	onzas	0.035
libras	kilogramos	0.454	kilogramos	libras	2.205
<b>TEMPERATURA (exacto)</b>			<b>TEMPERATURA (exacto)</b>		
grados Farenheit	grados Celsius	$5(F - 32) / 9$	grados Celsius	grados Farenheit	$1.8C + 32$
<b>ILUMINACIÓN</b>			<b>ILUMINACIÓN</b>		
candelas-pie	lux	10.76	lux	candelas-pie	0.0929
lamberts-pie	candela/m <sup>2</sup>	3.426	candela/m <sup>2</sup>	lamberts-pie	0.2919
<b>FUERZA Y PRESIÓN O ESFUERZO</b>			<b>FUERZA Y PRESIÓN O ESFUERZO</b>		
libra fuerza	Newton	4.45	Newton	libra fuerza	0.225
libra fuerza por pulgada cuadrada	kilopascales	6.89	kilopascales	libra fuerza por pulgada cuadrada	0.145



# INTRODUCCIÓN

## I.1 GENERALIDADES

---

- I.1.1** El presente Manual de Normas de Ensayo de Materiales para Carreteras tiene el propósito de estandarizar los procedimientos de muestreo y ensayo en los laboratorios que realizan pruebas para los proyectos a cargo del Instituto Nacional de Vías sobre la infraestructura carretera nacional. Estas normas reemplazan, en su totalidad, las normas de ensayo adoptadas como norma técnica por el Ministerio de Transporte mediante resolución 3290 del 15 de agosto de 2007.
- I.1.2** Los procedimientos y requerimientos incluidos en el documento se basan, principalmente, en normas internacionales elaboradas por instituciones de prestigio, en especial la ASTM, adaptadas a las necesidades específicas del INVÍAS, y no deben ser sustituidas por otras normas que parecieran equivalentes o similares. Los ensayos cubiertos por las diferentes normas se deben ajustar con exactitud a los procedimientos descritos en ellas. Cualquier alteración a los mismos, por insignificante que parezca, trae como consecuencia la invalidez del resultado obtenido, pues puede conducir a conclusiones erróneas sobre el comportamiento de los materiales ensayados y hace imposible su comparación con los resultados obtenidos al efectuar los ensayos correctamente en otros laboratorios.
- I.1.3** Con el fin de evitar confusiones a los usuarios, se ha procurado mantener al máximo la nomenclatura de las normas del documento de 2007. Sin embargo, debido a que las normas de la Sección 700, relacionadas con los pavimentos asfálticos y con la prospección de pavimentos, las más numerosas del Manual, han sobrepasado el centenar como resultado de la actualización, se ha considerado procedente darles continuidad en la Sección 800. Debido a ello, las normas sobre Estabilizaciones, que antes ocupaban la Sección 800, se han trasladado a la Sección 600. Asimismo, en esta actualización se han retirado del documento normas incluidas en la versión anterior relacionadas con productos elaborados en fábricas, los cuales no son objeto de la inspección cotidiana de su calidad en los laboratorios de las obras viales y, además, se encuentran amparados por marcas o sellos de calidad, otorgados por organizaciones de normalización autorizadas que respaldan la conformidad del producto a unos criterios definidos por unas normas técnicas reconocidas internacionalmente, lo que permite asegurar que los sistemas de fabricación son eficaces y confiables. En ese orden de ideas, el Instituto Nacional de Vías

considera suficiente mencionar en sus especificaciones de construcción las Normas Técnicas Colombianas (NTC) o de organizaciones internacionales de ensayo de materiales de reconocido prestigio que resulten aplicables para verificar la idoneidad de estos productos de fábrica, satisfacción que debe ser acreditada por el contratista mediante las certificaciones de calidad entregadas por los fabricantes o los proveedores. Para ser aceptada por el Instituto, la certificación se deberá encontrar vigente en el instante en que el producto sea adquirido para su utilización en las obras a cargo de la entidad. Cuando se trate de certificaciones expedidas en el exterior, será necesario el apostille de acuerdo con la reglamentación vigente, para aceptar su validez. Independientemente de ello, el Instituto Nacional de Vías podrá exigir, cada vez que lo considere conveniente, que se ejecuten las pruebas necesarias en laboratorios nacionales acreditados, para comprobar que el producto que se pretende emplear responde a todos los requisitos exigidos por las especificaciones de construcción de carreteras de la entidad.

## **I.2 ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO**

---

**I.2.1** Las normas se presentan agrupadas en función de sus objetivos, a través de las siguientes Secciones:

- Sección 100                    –        Suelos.
- Sección 200                   –        Agregados pétreos.
- Sección 300                   –        Cemento.
- Sección 400                   –        Concreto hidráulico.
- Sección 500                   –        Reservada para uso posterior.
- Sección 600                   –        Estabilización de suelos.
- Secciones 700 y 800       –        Materiales y mezclas asfálticas y prospecciones de pavimentos.

## **I.3 PERSONAL ASIGNADO A LA EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS**

---

**I.3.1** La calidad de los resultados producidos por los ensayos incluidos en las normas que forman parte de este documento, depende de la competencia del personal que las realice y de las posibilidades, calibración y mantenimiento del equipo empleado. En consecuencia, las firmas que realicen ensayos con destino a las obras a cargo del Instituto Nacional de Vías, deberán garantizar que los equipos que utiliza son idóneos y que los operadores disponen de certificaciones expedidas por entidades competentes, que respalden la

actualización de sus conocimientos al tenor de los procedimientos descritos en estas normas actualizadas.

- I.3.2** El laboratorista vial, denominado generalmente como operador u operario en las presentes normas de ensayo de materiales, es el encargado de realizar los muestreos, ensayos, medidas y cálculos y de reportar los resultados requeridos por el ingeniero para verificar el cumplimiento de las especificaciones técnicas de las obras de acuerdo con la reglamentación vigente, en relación con la calidad de los materiales empleados, los métodos de ensayo utilizados, los requisitos de diseño y otros aspectos relacionados con los estudios y la ejecución de las obras.
- I.3.3** En consecuencia con su responsabilidad, aunque bajo la supervisión del profesional a cargo de los estudios o de la obra, el laboratorista vial deberá conocer y dominar las técnicas de muestreo y ensayo, evaluación e interpretación de los resultados, elaboración y emisión de informes y manejo del personal subalterno. Además, deberá tener conocimiento sobre el manejo de información técnica, el control de calidad, la dosificación de los materiales y demás aspectos del proceso constructivo.
- I.3.4** Para demostrar su idoneidad, el laboratorista deberá tener título de geotecnólogo o de técnico en construcción de obras civiles con matrícula que lo respalde si así lo tiene establecido la reglamentación vigente y, además, deberá presentar un documento, expedido por una organización de normalización reconocida o un establecimiento universitario aprobado, donde se certifique que es competente para llevar a cabo los procedimientos propios de los ensayos descritos en la presente versión de las normas de ensayo de materiales. En consecuencia, dicho certificado deberá haber sido expedido con posterioridad a la fecha de adopción de estas normas por el Ministerio de Transporte.
- I.3.5** No es la intención del Instituto Nacional de Vías que al individuo le sea certificada su competencia para todos los ensayos incluidos en las presentes normas, sino que demuestre su idoneidad para la ejecución de los ensayos fundamentales en diferentes módulos, que incluyan los ensayos rutinarios en los trabajos relacionados con los estudios, la ejecución y el control de las obras a cargo de la entidad. En este orden de ideas, el laboratorista vial deberá estar obligatoriamente calificado en los módulos que exija el Instituto Nacional de Vías en el pliego de condiciones o en los términos de referencia del respectivo proyecto, entre los siguientes: Suelos, Agregados Pétreos, Concretos, y Mezclas Asfálticas.

## **I.4 SEGURIDAD E HIGIENE**

---

- I.4.1** Las normas de ensayo de materiales contienen un conjunto de instrucciones para realizar una o más operaciones específicas y no pretenden tratar sobre los eventuales problemas de seguridad asociados con su empleo. Aunque ocasionalmente incluyen previsiones específicas sobre la protección de los operarios, de terceros y de los equipos e instalaciones, no resulta posible incluir en ellas todos los asuntos relacionados con la seguridad. Por lo tanto, es de absoluta responsabilidad del usuario de cada norma, adoptar las medidas de seguridad e higiene adecuadas y determinar la aplicabilidad de las limitaciones legales, antes de su uso. El Instituto Nacional de Vías no asume responsabilidad alguna por los accidentes y riesgos derivados del uso de las normas incluidas en el manual.
- I.4.2** Es política del Instituto Nacional de Vías asegurar que los riesgos de todos los productos, equipos, procedimientos y métodos de ensayo sean debidamente identificados, y que la información relacionada con ellos sea oportuna y debidamente transmitida a los empleados de cada laboratorio, por parte de la persona legalmente responsable del mismo. En consecuencia, la ejecución de cualquiera de los ensayos a los cuales se refieren las normas contenidas en este Manual – tanto las que se deban realizar en las instalaciones del laboratorio como en el terreno – implica una declaración implícita del laboratorio que la realiza, en el sentido de que posee un manual de seguridad completo, aprobado por entidad competente, y que todo el personal involucrado directa o indirectamente en su aplicación tiene cabal conocimiento de él y está comprometido con su cumplimiento.

## **I.5 SISTEMA DE UNIDADES**

---

- I.5.1** Las dimensiones que se presentan en unidades SI en las diferentes normas se deben considerar como el estándar. Los valores en sistema inglés que las suelen acompañar entre paréntesis no son estándar y, por lo general, no corresponden a conversiones matemáticas exactas. Cada sistema se debe usar de manera separada. La combinación de valores de los 2 sistemas puede dar como resultado una no conformidad con el estándar.

## I.6 EL REDONDEO EN LA APLICACIÓN DE LAS NORMAS

---

**I.6.1** A continuación se describe el procedimiento de redondeo que se debe emplear para todos los cálculos y registros de datos al efectuar los ensayos de materiales, salvo cuando un método específico cite un método de redondeo diferente como sucede, por ejemplo, con el equivalente de arena descrito en la norma INV E-133.

*Nota: La norma INV E-823-13, presenta un procedimiento de redondeo, que puede o no coincidir con el que se describe a continuación, el cual es aplicable, específicamente, a la verificación del cumplimiento de las especificaciones de construcción.*

**I.6.2** Cuando la cifra siguiente a la última cifra o lugar a ser retenido es menor de 5, la cifra que se encuentre en el último lugar a retener permanecerá sin cambio, como lo muestran los siguientes ejemplos:

- El redondeo de 6.6323 a la milésima más cercana es 6.632
- El redondeo de 55233.343 a la centésima más cercana es 5523.34
- El redondeo de 7865.52 a la décima más cercana es 7865.5
- El redondeo de 9543.1 al entero más cercano es 9543
- El redondeo de 7233 a las unidades de 10 más cercanas es 7230
- El redondeo de 8139 a las unidades de 100 más cercanas es 8100
- El redondeo de 2497 a las unidades de 1000 más cercanas es 2000

**I.6.3** Cuando la cifra siguiente a la última cifra o lugar a ser retenido sea igual o mayor de 5, la cifra que se encuentre en el último lugar a retener se incrementará en una unidad, como lo muestran los siguientes ejemplos:

- El redondeo de 5819.4575 a la milésima más cercana es 5819.458
- El redondeo de 9027.315 a la centésima más cercana es 9027.32
- El redondeo de 4450.75 a la décima más cercana es 4450.8
- El redondeo de 3366.5 al entero más cercano es 3367
- El redondeo de 7125 a las unidades de 10 más cercanas es 7130
- El redondeo de 8850 a las unidades de 100 más cercanas es 8900
- El redondeo de 7500 a las unidades de 1000 más cercanas es 8000
  
- El redondeo de 5.4577 a la milésima más cercana es 5.458
- El redondeo de 9027.348 a la centésima más cercana es 9027.35
- El redondeo de 78.38 a la décima más cercana es 78.4
- El redondeo de 1002.9 al entero más cercano es 1003
- El redondeo de 6826 a las unidades de 10 más cercanas es 6830
- El redondeo de 3872 a las unidades de 100 más cercanas es 3900
- El redondeo de 4660 a las unidades de 1000 más cercanas es 5000

- I.6.4** Ningún resultado se deberá redondear más de una vez, como se ilustra en el siguiente ejemplo: 3024.5 redondeado a las unidades de 10 más cercanas es 3020. Es incorrecto redondear primero 3024.5 a 3025 y, luego, redondear por segunda vez a 3030.
- I.6.5** Las calculadoras electrónicas y los computadores suelen suministrar muchas cifras decimales en exceso de las necesarias para verificar la exactitud. A veces, los resultados de los cálculos que utilizan estos valores son diferentes de los que se obtienen cuando las operaciones se realizan con valores que han sido redondeados al grado deseado de exactitud mediante las reglas que se acaban de mencionar. El usuario queda advertido de que el uso de un computador o una calculadora electrónica sin reentrada de valores luego del redondeo y el descarte de cifras más allá de las que se requieren, puede producir variaciones inaceptables en los resultados finales.

## **I.7 DECLARACIONES SOBRE PRECISIÓN Y SESGO EN LAS NORMAS DE ENSAYO DE MATERIALES**

---

- I.7.1** La Sección relacionada con la precisión y el sesgo constituye la hoja de vida de una norma de ensayo. Ella proporciona la validación del método y asegura que puede hacer lo que pretende.
- I.7.2** Todo ensayo en su aplicación al proceso de medida de una propiedad de un material lleva asociada con él una precisión. Al ensayar distintas muestras de un mismo material, manteniendo constantes todas las condiciones de ensayo, lo más probable es que no se obtengan resultados idénticos. Esto se debe a los errores que se cometen al preparar las muestras y en el proceso de medida.
- I.7.3** Por lo tanto, conocer el valor verdadero que tiene una determinada propiedad de un material a partir de la aplicación de un número finito de ensayos resulta prácticamente imposible. Pero, a partir de estos resultados, se puede determinar un intervalo en el cual se tenga una gran probabilidad de que se encuentre incluido el valor de la propiedad que se está evaluando. La amplitud de este intervalo es lo que determina la precisión del proceso de medida.
- I.7.4** Dependiendo de la precisión del proceso de medida, oscilará también la mayor o menor proximidad entre las medidas individuales observadas. La precisión es “la cercanía de la concordancia entre resultados de ensayo independientes obtenidos bajo condiciones estipuladas”, mientras el sesgo es “un error sistemático, inherente al método de ensayo, que contribuye a la diferencia entre la media de las medidas de una población o entre los resultados de los



ensayos y el valor real o que se acepte como referencia”. En otras palabras, la precisión habla de qué tan cerca se encuentra un resultado de otro y el sesgo habla de qué tan cerca están los resultados del valor verdadero.

- I.7.5** En la evaluación de un método de ensayo se usan dos medidas diferentes de precisión: la precisión de un solo operador (llamada repetibilidad) y la precisión entre laboratorios o multilaboratorio (llamada reproducibilidad). La primera se refiere a la variabilidad entre los resultados de múltiples ensayos realizados por un operador en el mismo laboratorio, mientras la segunda se refiere a la variabilidad entre los resultados de ensayos simples adelantados en varios laboratorios. Ambas se calculan como desviaciones estándar de los resultados de los ensayos. Juntas, la repetibilidad y la reproducibilidad, establecen los límites superior e inferior a la precisión de un método de ensayo.
- I.7.6** La declaración de precisión en una norma incluye las desviaciones estándar (denominadas frecuentemente como “1s”) y los límites con 95 % de confianza en la diferencia entre dos resultados de ensayo (denominados frecuentemente como “d2s”). Los límites del 95 % son numéricamente iguales a  $2\sqrt{2} = 2.828$  veces las respectivas desviaciones estándar, para datos que se sabe que están distribuidos normalmente. Este mismo valor se puede considerar correcto, también, para la mayoría de los datos que no se ajustan a la distribución normal.
- I.7.7** Los límites de un solo operador (repetibilidad) representan la mayor diferencia aceptable entre los resultados de dos ensayos adelantados por el mismo operador, en el mismo laboratorio y empleando el mismo equipo para ensayar dos muestras presumiblemente idénticas del mismo material. Los límites multilaboratorio (reproducibilidad) representan la mayor diferencia aceptable entre los resultados de dos ensayos adelantados sobre dos muestras presumiblemente idénticas por dos operadores en laboratorios diferentes.
- I.7.8** Una declaración típica de precisión para un ensayo de medición de resistencia a la compresión de cilindros de concreto puede ser, por ejemplo, la siguiente: (1) La desviación estándar de un solo operador (límite 1s) se ha establecido en  $11 \text{ kgf/cm}^2$ , dentro del rango de resistencia entre  $160$  y  $300 \text{ kgf/cm}^2$ . Por lo tanto, los resultados de dos ensayos adecuadamente realizados por el mismo operador no deben diferir en más de  $31 \text{ kgf/cm}^2$  (límite d2s); y (2) La desviación estándar multilaboratorio (límite 1s) se ha establecido en  $16 \text{ kgf/cm}^2$ , dentro del rango de resistencia entre  $160$  y  $300 \text{ kgf/cm}^2$ . Por lo tanto, los resultados de dos ensayos adecuadamente realizados en diferentes laboratorios no deben diferir en más de  $45 \text{ kgf/cm}^2$  (límite d2s).

**I.7.9** ¿Qué significa lo anterior? Significa que si, por ejemplo, el técnico de laboratorio rompe dos cilindros del mismo concreto y uno presenta una resistencia  $28 \text{ kgf/cm}^2$  menor que el otro, no se puede concluir que un material es más débil que el otro, porque la diferencia se puede deber a errores aleatorios en el ensayo (la diferencia es menor de  $31 \text{ kgf/cm}^2$ ). Si, en cambio, un cilindro presenta una resistencia  $40 \text{ kgf/cm}^2$  menor que el otro, sí se puede concluir que es posible que el material sea más débil. Esta clase de información es muy importante en el momento de redactar especificaciones.

**I.7.10** En los casos en que los resultados de los ensayos se pueden comparar con un valor de referencia aceptado, se puede redactar también una declaración sobre sesgo, que establece la magnitud con la que el ensayo puede sobreestimar o subestimar el valor correcto. El sesgo se expresa como un intervalo de 95 % de confianza en la diferencia entre los resultados de los ensayos y el valor real. Por ejemplo: “se halló que el sesgo del método de ensayo, con 95 % de confianza, se encuentra entre 0.0062 y 0.0071”. Para la mayoría de los métodos de ensayo, no hay valor de referencia disponible, por lo que no se puede establecer el sesgo. En tales casos, es preferible indicar este hecho en la norma, que omitir cualquier referencia al sesgo.

## **I.8 CONSIDERACIONES FINALES**

---

**I.8.1** Aunque este documento se ha elaborado con el mayor de los cuidados, el Instituto Nacional de Vías no acepta responsabilidades por las imprecisiones de su contenido o por cualquier consecuencia derivada de su uso. Las personas que usen la información incluida en las diferentes normas del Manual deberán disponer de buen juicio técnico y aplicar el sentido profesional en relación con cada uno de los asuntos que estén considerando.

**I.8.2** Las fotografías y los dibujos de equipos utilizados en las diferentes normas de este documento tienen como único propósito ilustrar los textos, y no implican preferencia alguna por parte del Instituto Nacional de Vías por cualquier marca o modelo en particular.

# INVESTIGACIÓN DE SUELOS Y ROCAS PARA PROPÓSITOS DE INGENIERÍA

INV E – 101 – 13

## 1 INTRODUCCIÓN

---

- 1.1** Esta norma proporciona métodos para el muestreo y la investigación de suelos y rocas con base en procedimientos normalizados, mediante los cuales se pueden determinar las condiciones de distribución del suelo, de la roca y del agua freática.
- 1.2** El muestreo y la identificación de materiales del subsuelo implican técnicas simples y complejas, acompañadas de procedimientos e interpretaciones diferentes, las cuales están influenciadas por las condiciones geológicas y geográficas, por el propósito de la investigación y por los conocimientos, la experiencia y el entrenamiento del ingeniero.
- 1.3** Una investigación consistente y procedimientos adecuados de muestreo del suelo y de la roca, facilitarán la correlación de los respectivos datos con propiedades mecánicas del suelo como plasticidad, permeabilidad, peso unitario, compresibilidad, resistencia y gradación; y de la roca como resistencia, estratigrafía, estructura y morfología.

## 2 OBJETO

---

- 2.1** Esta norma hace referencia a los métodos por medio de los cuales se pueden determinar las condiciones de suelos, rocas y agua freática. El objetivo de la investigación consiste en la identificación y la localización, tanto vertical como horizontalmente, de los tipos significativos de suelos y rocas y las condiciones de agua freática presentes en un área dada y el establecimiento de las características de materiales subyacentes a la superficie, ya sea por muestreo, por pruebas en el terreno, o ambos.
- 2.2** Las pruebas de laboratorio sobre muestras de suelos, rocas y de agua freática se encuentran descritas en otras normas y, por lo tanto, no forman parte de ésta.
- 2.3** Antes de comenzar cualquier trabajo de exploración de campo, el sitio debe ser estudiado para comprobar si existen conexiones de servicios públicos bajo

tierra. En caso de que se encuentren evidencias de materiales contaminados o condiciones peligrosas que puedan surgir en el curso de la investigación, el trabajo se debe interrumpir hasta el instante en que las circunstancias hayan sido evaluadas y se reciban nuevas instrucciones antes de reiniciar el trabajo.

**2.4** Esta norma reemplaza la norma INV E-101-07.

### **3 IMPORTANCIA Y USO**

---

**3.1** Un estudio adecuado de suelos, rocas y agua freática proporciona la información pertinente para decidir sobre uno o más de los siguientes tópicos:

**3.1.1** Localización de la obra propuesta, tanto en planta como verticalmente.

**3.1.2** Localización y evaluación preliminar de materiales de préstamo y de fuentes locales de materiales de construcción.

**3.1.3** Necesidad de tratamientos especiales de excavación o de drenaje de la subrasante o de la fundación de terraplenes y de otras obras viales.

**3.1.4** Investigaciones sobre estabilidad de taludes, tanto naturales como de cortes y terraplenes.

**3.1.5** Investigaciones sub-superficiales detalladas para estructuras específicas o instalaciones de servicio público.

**3.1.6** Selección conceptual de los tipos de terraplenes y de los sistemas de cimentación.

**3.1.7** Necesidad de identificar áreas que requieren protección ambiental especial.

**3.1.8** Necesidad de controlar problemas de construcción.

**3.2** La investigación de suelos y rocas subyacentes a la superficie requiere la toma de muestras representativas y de calidad tal, que permitan determinar la clasificación del suelo o el tipo mineralógico de la roca, o ambos, así como las propiedades de ingeniería pertinentes al diseño propuesto.

### **4 RECONOCIMIENTO DEL ÁREA DEL PROYECTO**

---

- 4.1** Antes de iniciar cualquier programa de campo, se debe recopilar, estudiar y evaluar toda la documentación técnica disponible: mapas topográficos, fotografías aéreas, imágenes satelitales, mapas geológicos, estudios regionales o locales sobre fuentes de materiales y recursos minerales, mapas de suelos para ingeniería y otros informes de utilidad referentes al área del proyecto. Igualmente, se deben estudiar, cuando los haya, informes de investigaciones sub-superficiales correspondientes a proyectos cercanos o adyacentes a la zona de estudio. Los mapas agrológicos e informes de suelos de fecha reciente, pueden ayudar al ingeniero a establecer la amplitud de las características del suelo a profundidades entre 1.5 y 2.0 m (5 a 6 pies), para cada tipo de suelo mostrado en los mapas.

*Nota 1: Es necesario tener en cuenta que aunque los mapas e informes antiguos sean obsoletos y de valor limitado a la luz del conocimiento actual, una comparación de lo viejo con lo nuevo revela, a menudo, información valiosa e inesperada.*

*Nota 2: Cada tipo de suelo tiene un perfil que lo distingue debido a la edad, al material de origen (roca parental), al relieve, a las condiciones climáticas y a la actividad biológica. Estas propiedades pueden ayudar a identificar los diferentes tipos de suelos, cada uno de los cuales puede requerir análisis y tratamientos específicos. A menudo, se encuentran propiedades similares de ingeniería donde existen características similares en los perfiles de los suelos. Los cambios en las propiedades del suelo en áreas adyacentes indican, con frecuencia, cambios en el material de origen o en el relieve.*

- 4.2** En áreas donde los datos descriptivos sean incompletos debido a la escasez de mapas geológicos o de suelos, se deberán estudiar los suelos y rocas en zonas de cortes abiertos en la vecindad de la obra, y anotar los diferentes perfiles de suelos y rocas. Las correspondientes notas de campo deberán incluir los datos a que hace referencia el numeral 10.5.
- 4.3** Donde se desee un mapa preliminar que cubra el área del proyecto, éste se puede preparar a partir de mapas elaborados con la ayuda de fotografías aéreas que muestren las condiciones del terreno. La distribución de los depósitos predominantes de suelos y rocas que probablemente se encontrarán durante la investigación, se podrá mostrar empleando datos obtenidos de mapas geológicos y con base en un limitado reconocimiento del terreno. Expertos en la interpretación de fotografías aéreas pueden deducir muchos datos del subsuelo a partir del estudio de fotografías en blanco y negro, a color e infrarrojas, debido a que condiciones similares de suelo o roca, o ambas, presentan generalmente similares patrones de apariencia en fotografías aéreas de regiones con clima o vegetación similares. Este mapa preliminar se puede transformar en otro con más detalles de ingeniería, localizando las perforaciones de ensayo, las calicatas y las abscisas de muestreo y precisando mejor los límites determinados con la exploración detallada del subsuelo.

- 4.4** En áreas donde la información documentada es escasa, se puede obtener algún conocimiento de las condiciones sub-superficiales entrevistando, entre otros, a los propietarios de la tierra, a quienes perforan pozos profundos y a los representantes de la industria local de la construcción.

## **5 PLAN DE EXPLORACIÓN**

---

- 5.1** Los requisitos disponibles sobre el diseño y el comportamiento del proyecto deben ser revisados antes del desarrollo final del plan de exploración. Se debe planear una exploración preliminar para delimitar las áreas cuyas condiciones requieran una investigación más detallada. Una investigación completa de suelos, rocas y aguas freáticas debe abarcar las siguientes actividades:
- 5.1.1** Revisión de la información disponible, tanto regional como local, sobre la historia geológica y sobre las condiciones de suelos, rocas y nivel freático existentes en el lugar propuesto y en su inmediata vecindad.
  - 5.1.2** Interpretación de fotografías aéreas y otros datos obtenidos con sensores remotos.
  - 5.1.3** Reconocimiento del terreno para identificar las condiciones geológicas, dibujar las exposiciones estratigráficas y los afloramientos, y evaluar el comportamiento de las estructuras existentes.
  - 5.1.4** Investigación en el terreno de materiales superficiales y sub-superficiales, mediante estudios geofísicos, perforaciones o pozos exploratorios.
  - 5.1.5** Recolección de muestras alteradas representativas de suelos, rocas y materiales de construcción, para pruebas de clasificación en el laboratorio. Éstas se deben complementar con muestras inalteradas apropiadas para la determinación de aquellas propiedades de ingeniería pertinentes a la investigación.
  - 5.1.6** Identificación de la posición de la tabla freática, o tablas de agua si existen depósitos aislados de agua subterránea o de los niveles piezométricos, si hay agua artesisiana subterránea. Se debe considerar la variación de estas posiciones durante períodos cortos y largos. Estratos de suelo de colores abigarrados pueden ser indicativos de largos períodos en el año con altos niveles de aguas freáticas.

- 5.1.7** Identificación y evaluación de la ubicación de los materiales de fundación, ya sean lechos de roca o suelos con adecuada capacidad de carga.
- 5.1.8** Identificación en el terreno de sedimentos de suelo y de la roca, con particular referencia al tipo y grado de descomposición (por ejemplo, saprolito, esquistos en descomposición, etc.), las profundidades a las cuales se encuentran y los tipos y lugares de sus discontinuidades estructurales.
- 5.1.9** Evaluación del comportamiento de instalaciones existentes, en relación con el material de cimentación de la estructura y el ambiente en la vecindad inmediata del sitio propuesto.

## **6 EQUIPOS A USAR EN LA EXPLORACIÓN**

---

- 6.1** El tipo de equipo requerido para la investigación sub-superficial depende de diferentes factores, entre los que se pueden mencionar el tipo de material que se encuentre, la profundidad hasta la cual se debe llevar la exploración, la naturaleza del terreno y el uso que va a tener la información obtenida.
  - 6.1.1** Los equipos de manejo manual resultan apropiados para la ejecución de exploraciones hasta, aproximadamente, 5 m (15 pies) de profundidad.
  - 6.1.2** Los equipos de movimiento de tierras, como retroexcavadoras y dragas de arrastre permiten el examen de los depósitos de suelos directamente en el terreno, así como el muestreo de materiales que contiene partículas de gran tamaño.
  - 6.1.3** Los equipos mecánicos de perforación pueden alcanzar profundidades hasta de 100 m (300 pies) en suelos y aún mayores en rocas.

## **7 EXPLORACIÓN GEOFÍSICA**

---

- 7.1** Las técnicas de detección remota pueden ayudar al mapeo de las formaciones geológicas y a la evaluación de variaciones en las propiedades de suelos y rocas. Se pueden emplear herramientas de espectrometría satelital para detectar y levantar mapas sobre la extensión de los materiales cercanos a la superficie y la estructura geológica. La interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales permite localizar e identificar características geológicas significativas que pueden ser indicativas de fallas y fracturas. Generalmente, se requiere algún punto terrestre de referencia para verificar los datos obtenidos mediante los sensores remotos.
- 7.2** Se puede usar prospección geofísica para complementar la información de las perforaciones y los afloramientos e interpolar entre orificios exploratorios. Métodos sísmicos, el georradar y la resistividad eléctrica pueden resultar particularmente útiles cuando se presentan diferencias bien marcadas en las propiedades de materiales sub-superficiales contiguos.
- 7.3** Se pueden usar técnicas de refracción/reflexión sísmica de poca profundidad y de georradar para hacer el levantamiento de los horizontes de suelo, perfiles en profundidad, niveles de aguas freáticas y profundidad del lecho rocoso en muchas situaciones, aunque la profundidad de penetración y la resolución varían según las condiciones locales. Se pueden usar técnicas de inducción electromagnética, resistividad eléctrica y polarización inducida (o resistividad compleja) para levantar mapas sobre variaciones en el contenido del agua, estratos arcillosos, estratificación y profundidad de acuíferos y lechos de roca. Otras técnicas geofísicas, tales como métodos de gravedad, magnéticos y de temperatura del suelo a poca profundidad, se pueden usar bajo ciertas condiciones específicas. Métodos sísmicos y eléctricos de profundidad se usan rutinariamente en levantamientos estratigráficos y estructurales de rocas en conjunción con los perfiles. Medidas de velocidad de ondas transversales entre orificios o perforaciones, pueden proveer parámetros de los suelos y las rocas para análisis dinámicos.
- 7.3.1** El método de refracción sísmica puede ser especialmente útil para determinar la profundidad o la facilidad de cortar la roca en lugares en los cuales existen estratos más densos de manera sucesiva.
- 7.3.2** El método de reflexión sísmica puede ser útil en la delineación de unidades geológicas a profundidades por debajo de 3 m (10 pies). No está restringido por tramos de baja velocidad sísmica y es especialmente útil en áreas de rápidos cambios estratigráficos.
- 7.3.3** El método de resistividad eléctrica (método G 57 de ASTM), puede ser igualmente útil en la determinación de la profundidad de la roca y de



las anomalías en el perfil estratigráfico, en la evaluación de formaciones estratificadas en las cuales un estrato más denso descansa sobre otro menos denso, y en la localización de posibles fuentes de grava arenosa u otros materiales de préstamo. También, se requieren parámetros de resistividad para el diseño de sistemas de conexión a tierra y protección catódica para estructuras enterradas.

- 7.3.4** El uso del georradar puede ser útil para definir capas de suelo y roca y construcciones en un rango de profundidad de 0.30 a 10 m (1 a 30 pies).

*Nota 3: Las investigaciones geofísicas superficiales pueden constituir una guía útil en la determinación de los sitios para perforación o excavaciones. De ser posible, la interpretación de los estudios geofísicos se deberá verificar mediante perforaciones o excavaciones de prueba.*

## 8 MUESTREO

---

- 8.1** Se deben obtener muestras representativas de suelo o de roca, o de ambos, de cada material encontrado que sea de importancia para el diseño y la construcción. El tamaño y el tipo de las muestras dependen de los ensayos que se vayan a efectuar o del porcentaje de partículas gruesas en la muestra, así como de las limitaciones del equipo de ensayo por emplear.

*Nota 4: El tamaño de las muestras alteradas puede variar a discreción del encargado de la investigación, pero se sugieren las siguientes cantidades, para la mayoría de los materiales:*

- Clasificación visual: 50 a 500 g
- Análisis granulométrico y constantes de suelos finos: 500 g a 2.5 kg
- Ensayo de compactación y granulometría de suelos gruesos: 20 a 40 kg
- Agregados manufacturados o ensayo para determinar las propiedades de los agregados: 50 a 200 kg

- 8.2** Se debe identificar cuidadosamente cada muestra en relación con la respectiva perforación o calicata y con la profundidad a la cual fue tomada. Se coloca una etiqueta impermeable dentro del recipiente o bolsa, se cierra ésta en forma segura, se protege del manejo rudo y se marca exteriormente con una identificación apropiada. Las muestras destinadas a la determinación de la humedad natural se deben guardar en recipientes sellados, para evitar pérdidas de la misma. El transporte de las muestras del campo al laboratorio se debe realizar de acuerdo con las normas INV E-103 e INV E-113.

- 8.3** Los procedimientos usados con mayor frecuencia para el muestreo en el sitio, la identificación y los ensayos son los siguientes:

- 8.3.1** *Calicatas y trincheras* – Excavaciones a cielo abierto, hasta la profundidad deseada, tomando las precauciones necesarias para evitar

el desprendimiento de material de las paredes que pueda afectar la seguridad del trabajador o contaminar la muestra que se espera obtener.

- 8.3.2** *Muestreo de materiales para construcción de carreteras (INV E-201)* – Describe el muestreo de agregados gruesos y finos para la investigación preliminar de una posible fuente de materiales.
- 8.3.3** *Exploración y muestreo de suelos mediante barrenas (norma INV E-112)* – Este método se refiere al empleo de barrenos distintos al de vástago hueco, para la investigación de suelos y muestreo a poca profundidad, donde se puedan utilizar muestras alteradas. El procedimiento es útil para la determinación del nivel freático.
- 8.3.4** *Obtención de muestras de suelo mediante tubos de pared delgada (norma INV E-105)* – Describe un procedimiento para recobrar muestras de suelo relativamente inalteradas, adecuadas para ensayos de laboratorio.
- 8.3.5** *Perforaciones con broca de diamante para investigaciones del sitio (norma INV E-108)* – Cubre un procedimiento para recuperar muestras intactas de roca y de ciertos suelos demasiado duros para muestrearlos de acuerdo con las normas INV E-105 o INV E-111.
- 8.3.6** *Muestreo de suelos mediante tubo con camisa interior de anillos (INV E-109)* – Describe un procedimiento para la recuperación de muestras representativas de suelo moderadamente disturbadas para ensayos de clasificación y, ocasionalmente, para ensayos de corte o consolidación.
- 8.3.7** *Exploración y muestreo de suelos con barrena de vástago hueco (norma ASTM D 6151)* – Este método describe procedimientos que utilizan un barreno especialmente diseñado para facilitar el muestreo en el sitio.
- 8.3.8** *Ensayo de penetración normal (SPT) y muestreo de suelos con el tubo partido (norma INV E-111)* – Describe un procedimiento para obtener muestras para clasificación y medir la resistencia del suelo a la penetración de un muestreador normalizado.

## 9 CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES

---

- 9.1** Las muestras para ensayos de suelos y de rocas se deberán enviar al laboratorio para los siguientes ensayos de identificación y clasificación:
- 9.1.1** Clasificación de suelos y de mezclas de suelo agregado para la construcción de carreteras (norma INV E-180).
  - 9.1.2** Sistema unificado de clasificación de suelos para propósitos de ingeniería (norma INV E-181).
  - 9.1.3** Clasificación de la fracción fina de un suelo partir de su valor de azul de metileno (norma INV E-182).
  - 9.1.4** *Nomenclatura descriptiva para los elementos constitutivos de los agregados para concretos (norma ASTM C294)* - Esta es una descripción breve y útil de las rocas y minerales más comunes, tal como se encuentran en la naturaleza.

## 10 DETERMINACIÓN DEL PERFIL

---

- 10.1** El perfil general de un área de suelo o roca, o ambos, solo se puede definir con precisión en el sitio exacto de ejecución de la calicata, sondeo, o corte abierto. Las condiciones reales del subsuelo entre los puntos de observación pueden diferir significativamente de las encontradas durante la exploración. Un perfil detallado de suelos se deberá desarrollar, únicamente, donde se pueda inferir una relación continua entre profundidades y abscisas de los diferentes tipos de suelo y roca. Esta fase de la investigación se puede complementar mediante registros gráficos de los suelos y rocas observados en paredes de excavaciones o de áreas de cortes, o mediante registros gráficos de perforaciones de ensayo, o de ambos, e interpolando luego entre estos registros mediante el empleo de relaciones geológicas y de ingeniería con otros datos de suelos y rocas pertinentes al área. La separación en esta clase de investigaciones dependerá de la complejidad geológica del área y de la importancia de la continuidad del suelo y de la roca con respecto al diseño. Las perforaciones deberán ser de suficiente profundidad para revelar los datos de ingeniería requeridos que permitan el análisis de los renglones enunciados en la Sección 3 de esta norma, para cada proyecto.
- 10.2** La profundidad de las calicatas o perforaciones para estudios de pavimentos en carreteras, aeropuertos, o áreas de estacionamiento deberá ser, al menos, de 1.5 m (5 pies) por debajo del nivel proyectado para la subrasante, aunque circunstancias especiales pueden aumentar o disminuir esta profundidad. Los

sondeos para estructuras o terraplenes se deberán llevar por debajo del nivel de influencia de la carga propuesta, determinado mediante un análisis de transmisión de esfuerzos en profundidad.

- 10.3** Cuando la construcción o el comportamiento de las obras del proyecto puedan ser afectados por materiales permeables, acuíferos o materiales impermeables que puedan obstaculizar el drenaje interno, las perforaciones se deberán prolongar suficientemente para determinar las propiedades geológicas y de ingeniería de estos materiales que sean relevantes para el diseño del proyecto.
- 10.4** En todas las zonas de préstamo, las perforaciones deberán ser suficientes en número y profundidad, para permitir un cálculo confiable de las cantidades disponibles de material.
- 10.5** Los registros de perforaciones para cada proyecto se deberán efectuar de manera sistemática y deberán incluir:
- 10.5.1** La descripción de cada sitio o área investigada, con cada barreno, sondeo o calicata localizado claramente (horizontal y verticalmente) con referencia a algún sistema establecido de coordenadas o a algún sitio permanente de fácil identificación.
- 10.5.2** La columna estratigráfica hallada en cada barreno, sondeo o calicata, o tomada de una superficie de corte expuesta, en la cual se muestre claramente la descripción de campo y la localización de cada material y del nivel freático encontrado, mediante símbolos o palabras.
- Nota 5: Las fotografías en colores de núcleos de roca, muestras de suelos y estratos expuestos, pueden ser de gran utilidad para el ingeniero. Cada fotografía se deberá identificar con fecha y un número o referencia específica.*
- 10.5.3** La identificación de los suelos se deberá basar en la norma INV E-102 sobre descripción e identificación mediante procedimientos manuales y visuales, así como en las normas INV E-180 e INV E-181 para la clasificación de los suelos y de los suelos-agregados para construcción de carreteras. Para la identificación de rocas se empleará la norma ASTM C 294.
- 10.5.4** La localización y la descripción de zonas acuíferas y de filtración, así como los registros de los niveles freáticos hallados en cada perforación o calicata.

- 10.5.5** Los resultados y la localización precisa de los ensayos realizados en el terreno, tales como los de penetración, los de placa o los de veleta, u otros ensayos in-situ para determinar las propiedades de ingeniería de suelos o rocas.
- 10.5.6** El porcentaje de recuperación de los núcleos extraídos mediante la perforación con brocas de diamante y, cuando sea necesaria, estimación de la Designación Cualitativa de la Roca (RQD).
- 10.5.7** Los perfiles del subsuelo se deben dibujar únicamente con base en perforaciones reales de ensayo, calicatas o datos de los cortes. La interpolación entre dichos sitios se deberá hacer con extremo cuidado y con la ayuda de toda la información geológica disponible, anotando claramente que tal interpolación o la continuidad asumida de estratos es meramente tentativa. En ningún caso se deberán hacer extrapolaciones.

## 11 ENSAYOS IN SITU

---

- 11.1** Los ensayos in-situ son de utilidad para medir parámetros del suelo en condición inalterada, bajo las restricciones del suelo circundante o la masa de roca activa, sin necesidad de muestreo.
- 11.2** Algunas de las pruebas utilizadas para conocer las características de los materiales in-situ, son las siguientes:
- 11.2.1** *Ensayo de penetración normal (SPT) y muestreo de suelos con el tubo partido (norma INV E-111)* – Describe un procedimiento para obtener muestras para clasificación y medir la resistencia del suelo a la penetración de un muestreador normalizado.
- 11.2.2** *Ensayo de placa con carga estática no repetida sobre suelos y capas no tratadas de pavimentos, para emplear en la evaluación y el diseño de pavimentos (norma INV E-168)* – Para determinar el módulo de reacción de la subrasante o una medida de la resistencia al corte de las capas del pavimento.
- 11.2.3** *Relación de soporte del suelo en el terreno (CBR in-situ) (norma INV E-169)* – Describe una medida de la resistencia de los suelos, aplicable al diseño de pavimentos.

**11.2.4** *Ensayo de corte en suelos cohesivos usando la veleta de campo (norma INV E-170)* – Para medir in-situ la resistencia al corte de suelos cohesivos blandos, mediante la rotación de una veleta de cuatro hojas en un plano horizontal.

**11.2.5** *Uso del penetrómetro dinámico de cono en aplicaciones de pavimentos a poca profundidad (norma INV E-172)* – Describe una prueba manual para medir in-situ la resistencia en estratos relativamente superficiales.

**11.2.6** Método de penetración cónica estática (CPT), Norma ASTM D 3441.

## 12 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

---

**12.1** Los resultados de una investigación se deben interpretar, solamente, en términos de lo realmente encontrado, debiéndose realizar esfuerzos para recoger e incluir todos los datos de investigaciones previas en la misma área. La extrapolación de datos de áreas locales no investigadas ni muestreadas, se puede hacer solo para estudios conceptuales y, únicamente, cuando se sepa que existe geológicamente una disposición de capas por debajo de las superficiales, con propiedades uniformes de suelo y roca. Se deben dibujar secciones transversales como parte de la caracterización del área, si ello resulta necesario para demostrar las condiciones del lugar.

**12.2** Las propiedades mecánicas de los suelos y rocas de proyectos importantes no se deberán predecir solamente con base en la simple identificación o clasificación en el terreno, sino que se deberán comprobar mediante ensayos de laboratorio y de terreno, de acuerdo con lo indicado en las Secciones 10 y 11.

**12.3** Solamente se deberán dibujar perfiles del subsuelo a partir de datos reales. La interpolación de información entre perforaciones debe quedar claramente identificada y solo se debe efectuar sobre la base del conocimiento geológico disponible. El uso de técnicas geofísicas, como las descritas en la Sección 7 de esta norma, resultan útiles para efectuar esta interpolación. Los resultados de la investigación geofísica se deben presentar separadamente de los datos de muestreo o de ensayos in-situ.

**12.4** Las recomendaciones en relación con los parámetros de diseño deben ser formuladas únicamente por ingenieros o geólogos especializados en suelos y fundaciones o por ingenieros de carreteras familiarizados con los problemas comunes en dichas áreas. Los conceptos de mecánica de suelos y de rocas, y

de geomorfología, se deben combinar con un conocimiento de la ingeniería geotécnica y la hidrogeología, para lograr una aplicación cabal de los resultados de la exploración. Un estudio más detallado que el descrito puede ser necesario antes de que se puedan efectuar recomendaciones para el diseño.

## 13 INFORME

---

**13.1** El informe de investigación del subsuelo deberá incluir:

**13.1.1** Localización del área investigada, en términos que sean pertinentes al proyecto. Esto puede incluir esquemas o fotografías aéreas en las cuales se localizan las perforaciones y las zonas de muestreo, así como detalles geomorfológicos relevantes para la determinación de los diferentes suelos y rocas, tales como contornos, lechos de corrientes, depresiones, acantilados, etc. En cuanto sea posible, se debe incluir en el informe un mapa geológico del área investigada.

**13.1.2** Copias de los registros de las perforaciones y calicatas, de ensayos in-situ y de los formatos con los resultados de los ensayos de laboratorio.

**13.1.3** Descripción y relación de los datos a que se refieren las Secciones 4, 10 y 12, empleando los mismos subtítulos para los respectivos apartes.

## 14 PRECISIÓN Y SESGO

---

**14.1** Esta norma provee únicamente información cualitativa; por lo tanto, no son aplicables a la misma los enunciados de precisión y sesgo.

## 15 NORMAS DE REFERENCIA

---

ASTM D 420 – 98(2003)

**Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente**



# DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE SUELOS (PROCEDIMIENTO VISUAL Y MANUAL)

INV E – 102 – 13

## 1 OBJETO

---

- 1.1 Esta norma describe un procedimiento para identificar suelos con base en el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS). La identificación se hace mediante un examen visual y ensayos manuales, condición que se debe indicar claramente al elaborar el respectivo informe.
- 1.2 Cuando se requiera una identificación precisa de los suelos para usos con fines de ingeniería, se deberá usar el procedimiento descrito en el sistema unificado de clasificación (norma INV E-181) u otro apropiado.
- 1.3 En esta norma, la parte de la identificación que asigna un símbolo y un nombre al grupo, se limita a las partículas menores de 75 mm (3").
- 1.4 La porción del suelo identificable con esta norma está limitada a suelos que se presentan naturalmente, intactos o alterados.
- 1.5 La información descriptiva de esta norma se puede usar, también, con otros sistemas de clasificación de suelos o para materiales diferentes a los suelos que se presentan de manera natural como, por ejemplo, esquistos, arcillolitas, conchas, roca triturada, etc.
- 1.6 Esta norma reemplaza la norma INV E-102-07.

## 2 DEFINICIONES

---

- 2.1 *Grava* – Partículas de roca que pasan el tamiz de 75 mm (3") de abertura y quedan retenidas en el tamiz de 4.75 mm (No.4). Presenta las siguientes subdivisiones:
  - 2.1.1 *Gruesa* – Pasa el tamiz de 75 mm (3") y queda retenida sobre el tamiz de 19 mm (¾").
  - 2.1.2 *Fina* – Pasa el tamiz de 19 mm (¾") y queda retenida sobre el tamiz de 4.75 mm (No. 4).

- 2.2** *Arena* – Partículas de roca que pasan el tamiz de 4.75 mm (No. 4) y quedan retenidas en el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200), con las subdivisiones siguientes:
- 2.2.1** *Gruesa* – Pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4) y queda retenida sobre el tamiz de 2.00 mm (No. 10).
  - 2.2.2** *Media* – Pasa el tamiz 2.00 mm (No. 10) y queda retenida sobre el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40).
  - 2.2.3** *Fina* – Pasa el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40) y queda retenida sobre el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200).
- 2.3** *Arcilla* – Suelo que pasa el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200), el cual puede exhibir plasticidad (consistencia como de masilla) dentro de un cierto intervalo de humedad y presentar una resistencia considerable cuando se seca al aire. Para su clasificación, una arcilla es un suelo de grano fino, o la porción fina de un suelo, con un índice de plasticidad igual o mayor que 4, para el cual la coordenada que representa el índice plástico contra el límite líquido en la carta de plasticidad cae en la línea "A" o por encima de ella (Ver Figura 181-1 de la norma INV E-181).
- 2.4** *Arcilla orgánica* – Una arcilla con suficiente contenido orgánico como para influir sobre las propiedades del suelo. Para la clasificación, una arcilla orgánica es un suelo que sería clasificado como arcilla, excepto que el valor de su límite líquido después de secado en el horno es menor que el 75 % de dicho valor antes de secarlo.
- 2.5** *Limo* – Suelo que pasa el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200), ligeramente plástico o no plástico y que exhibe poca o ninguna resistencia cuando se seca al aire. Para clasificación, un limo es un suelo de grano fino, o la porción fina de un suelo con índice plástico menor que 4, para el cual la coordenada que representa el índice plástico contra el límite líquido cae por debajo de la línea "A", en la carta de plasticidad (Ver Figura 181-1 de la norma INV E-181).
- 2.6** *Limo orgánico* – Un limo con suficiente contenido orgánico como para afectar las propiedades del suelo. Para la clasificación, un limo orgánico es un suelo que sería clasificado como limo, excepto que su valor de límite líquido después de secado en el horno es menor que el 75 % de dicho valor antes de secarlo.
- 2.7** *Turba* – Un suelo de estructura primordialmente vegetal en estados variables de descomposición, con olor orgánico característico, color entre marrón

oscuro y negro, consistencia esponjosa, y cuya textura varía desde fibrosa hasta amorfa.

*Nota 1: Para las partículas retenidas en el tamiz de 75 mm (3"), se sugieren las siguientes definiciones:*

- *Cantos rodados*– Partículas de roca que no pasan una malla con abertura cuadrada de 300 mm (12").
- *Fragmentos de roca o guijarros*– Partículas de roca que pasan una malla con abertura cuadrada de 300 mm (12") y quedan retenidas en un tamiz de 75 mm (3") de abertura.

### 3 RESUMEN DEL MÉTODO

---

- 3.1** Usando el examen visual y mediante ensayos manuales simples, esta norma brinda criterios para describir e identificar los suelos.
- 3.2** Al suelo se le puede dar una identificación asignándole un(os) símbolo(s) de grupo y un nombre. Los diagramas de flujo para suelos de grano fino (Figuras 102-1.a y 102-1.b) y para suelos de grano grueso (Figura 102 - 2) se pueden usar para asignar símbolos de grupo y nombres apropiados. Si el suelo tiene propiedades que no lo colocan claramente dentro de un grupo específico, se pueden usar, para los fines de esta norma, unos símbolos "fronterizos" (Ver Anexo C).

*Nota 2: Es necesario hacer una distinción entre dobles símbolos y símbolos fronterizos:*

- *Doble símbolo* – Un doble símbolo corresponde a dos símbolos separados por un guión, por ejemplo: GP-GM, SW-SC, CL-ML, los cuales se usan para indicar que el suelo tiene propiedades para las cuales se requieren los dos símbolos. Estos se necesitan cuando el suelo tiene finos entre 5 y 12 % o cuando la coordenada del límite líquido y del índice plástico cae en el área CL-ML de la carta de plasticidad.
- *Símbolo fronterizo* – Un símbolo fronterizo corresponde a dos símbolos separados por una diagonal, por ejemplo: CL/CH, GM/SM, y se deberá usar para indicar que el suelo que ha sido identificado, tiene propiedades que no lo colocan de manera definitiva dentro de ningún grupo específico. Los símbolos fronterizos no forman parte del sistema unificado de clasificación de suelos (norma INV E-181).

### 4 IMPORTANCIA Y USO

---

- 4.1** La información descriptiva proporcionada por esta norma se puede utilizar para describir un suelo y para ayudar en la evaluación de sus propiedades significativas con fines de ingeniería.
- 4.2** Esta información descriptiva se puede usar para complementar la clasificación del suelo obtenida mediante pruebas convencionales de laboratorio (norma INV E-181).
- 4.3** Esta norma se puede emplear para identificar visual y manualmente los suelos, usando los mismos símbolos y nombres de grupo determinados al emplear la

norma INV E-181. Por lo tanto, y con el fin de evitar confusiones, en todo informe basado en la aplicación de la presente norma se debe aclarar, de manera taxativa, que el símbolo y el nombre asignados al suelo se basan en un procedimiento de clasificación visual y manual.

- 4.4** Esta norma se puede usar no sólo para la identificación de suelos en el campo sino, también, en el laboratorio o en cualquier sitio donde se deban inspeccionar y describir muestras.
- 4.5** Este procedimiento tiene un valor especial, porque permite agrupar muestras de suelos de características similares de tal manera que se necesite sólo un mínimo de ensayos de laboratorio para su correcta clasificación.

*Nota 3: La habilidad para identificar suelos correctamente se aprende fácilmente bajo la dirección de personal experimentado, pero también se puede adquirir comparando sistemáticamente los resultados numéricos de ensayos de laboratorio sobre suelos típicos de cada clase, con sus características visuales y manuales.*

- 4.6** Cuando se describen e identifican muestras de suelo de una calicata, un sondeo, o grupo de sondeos o calicatas, no es necesario seguir todos los procedimientos de esta norma para cada muestra. Suelos de características aparentemente similares se pueden agrupar y una muestra ya descrita e identificada completamente se puede relacionar entonces con otras similares, de manera que sólo se requiera efectuar unos pocos de los ensayos y procedimientos de identificación aquí descritos.

## 5 EQUIPO

---

- 5.1** Navaja de bolsillo o espátula pequeña.
- 5.2** Un pequeño tubo de ensayo con tapón (o un recipiente con tapa).
- 5.3** Lupas de mano pequeñas.

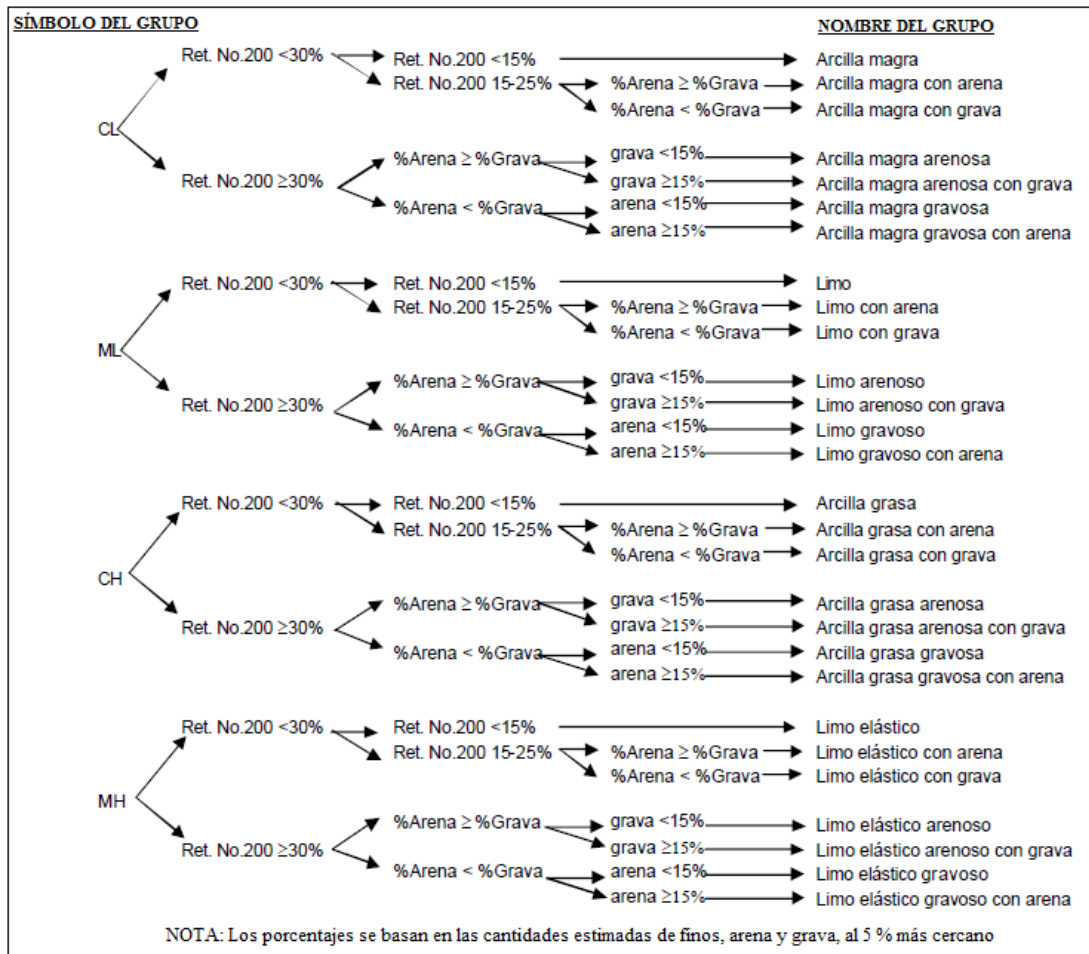


Figura 102 - 1.a. Diagrama de flujo para la identificación de suelos inorgánicos de grano fino

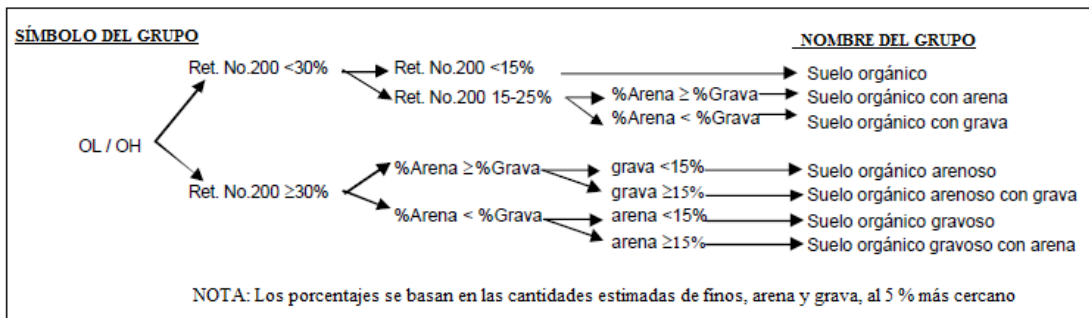


Figura 102 - 1.b. Diagrama de flujo para la identificación de suelos orgánicos de grano fino

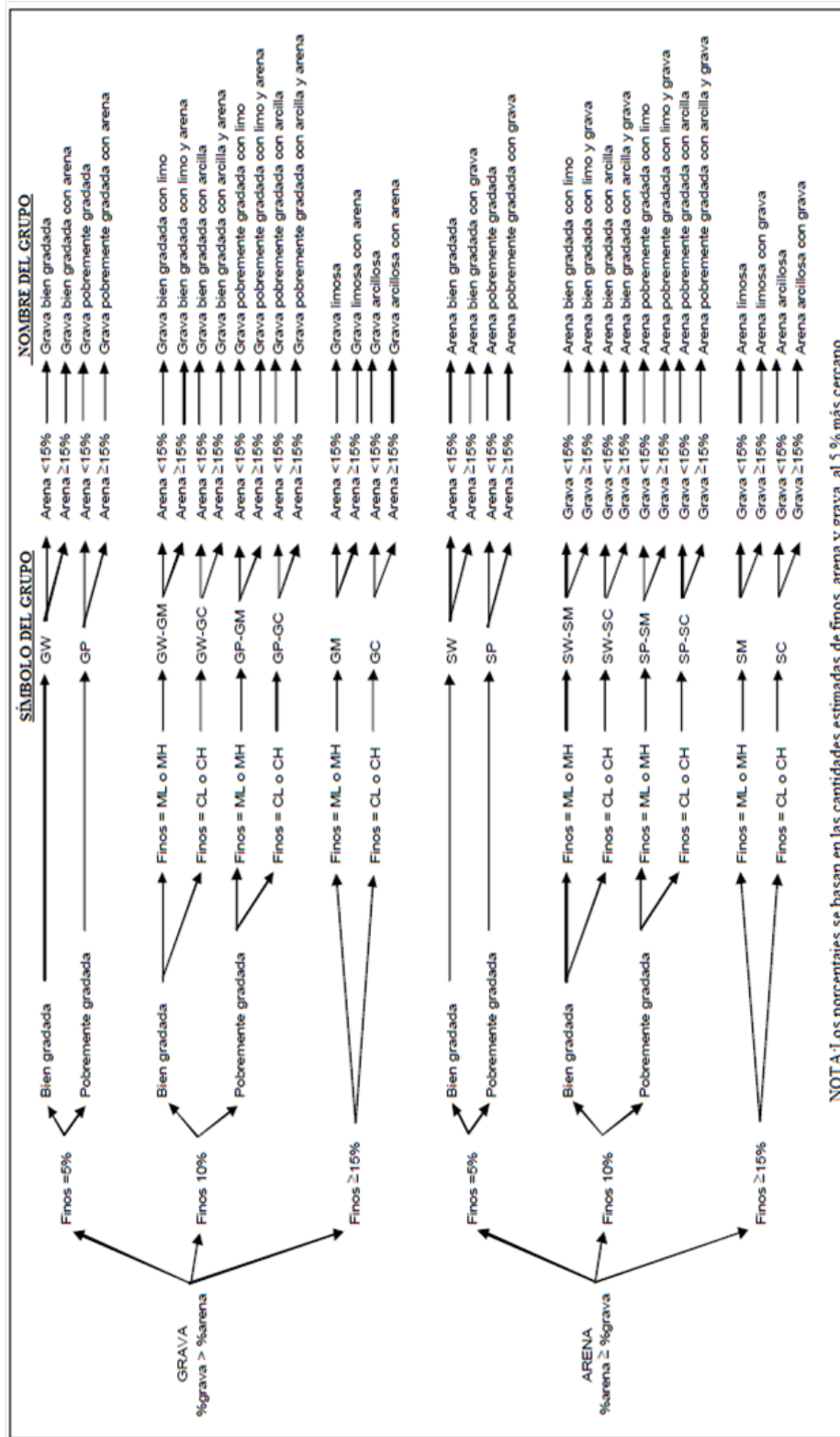


Figura 102 - 2. Diagrama de flujo para la identificación de suelos de grano grueso (menos de 50 % de finos)

## 6 REACTIVOS

---

- 6.1** *Agua* – A menos que se indique otra cosa, cuando se hace referencia al agua, se deberá dar por entendido que ella proviene de un acueducto o de una fuente natural, incluida agua que no sea potable.
- 6.2** *Acido clorhídrico* – Una pequeña botella de ácido clorhídrico diluido, HCl, una parte de HCl (10 N) en tres partes de agua destilada (este reactivo es opcional). (Véase la Sección 7).

## 7 PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

---

- 7.1** Al preparar la solución diluida de HCl de una parte concentrada de ácido (10 N) en tres partes de agua destilada, se debe agregar el ácido lentamente al agua, tomando las precauciones de seguridad necesarias. La solución se deberá manejar con cuidado y almacenar con seguridad. Si la solución se pone en contacto con la piel, ésta se deberá lavar perfectamente con agua. Por ningún motivo se podrá agregar agua al ácido.

## 8 MUESTREO

---

- 8.1** La muestra deberá ser obtenida mediante un procedimiento normalizado y aceptado para ser considerada como representativa.
- 8.2** Las muestras se deberán identificar cuidadosamente con respecto a su origen.

*Nota 4: Las anotaciones concernientes al origen deberán incluir un número para la perforación, así como un número para la muestra; referirse a un estrato geológico y a un horizonte pedológico, contener una descripción del lugar y relacionar su localización con respecto a una referencia permanente, así como la profundidad y cota de la cual se obtuvo.*

- 8.3** Para su descripción e identificación exactas, la cantidad mínima de la muestra que se debe examinar, estará de acuerdo con la siguiente lista:

TAMAÑO MÁXIMO DE LAS PARTÍCULAS (ABERTURA DEL TAMIZ)		TAMAÑO MÍNIMO DE LA MUESTRA, PESO SECO AL AIRE
NORMAL	ALTERNO	
4.75 mm	(No. 4)	100 g
9.5 mm	(3/8")	200 g
19.0 mm	(¾")	1.0 kg
39.1 mm	(1 ½")	8.0 kg
75.0 mm	(3")	60.0 kg

- 8.4 Cuando la muestra que está siendo examinada sea más pequeña que la cantidad mínima recomendada, el informe deberá incluir una anotación apropiada con respecto a esta situación.

## 9 INFORMACIÓN DESCRIPTIVA PARA LOS SUELOS

- 9.1 *Angulosidad* – Describir la angulosidad de la arena (únicamente tamaños gruesos), grava, guijarros, y fragmentos, como angulosos, sub-angulosos, sub-redondeados, y redondeados, de acuerdo con los criterios de la Tabla 102 - 1 y de la Figura 102 - 3. Se puede establecer un intervalo de angulosidad, tal como: de sub-redondeados a redondeados.

Tabla 102 - 1. Angulosidad de las partículas gruesas

DESCRIPCIÓN	CRITERIOS
Angulosa:	Partículas con bordes agudos y caras relativamente planas con superficies sin pulimentar
Sub-angulosa:	Partículas similares a las angulosas, pero con bordes algo redondeados
Sub-redondeada:	Partículas con casi todas las caras planas, pero con esquinas y bordes redondeados
Redondeada:	Partículas con lados curvados suavemente y sin bordes



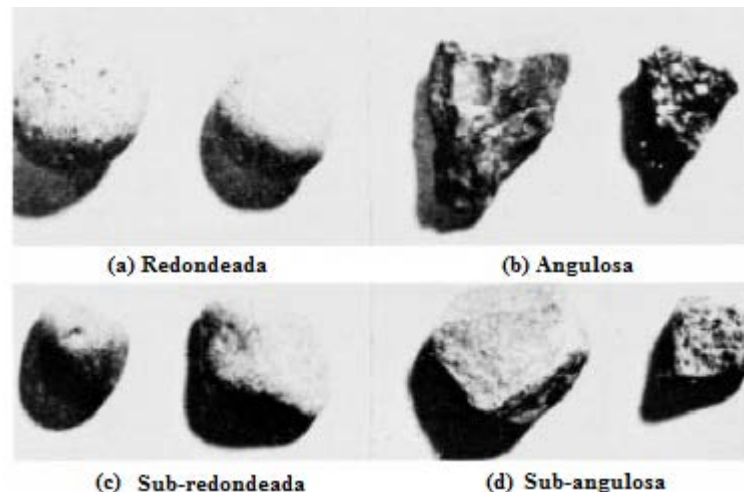
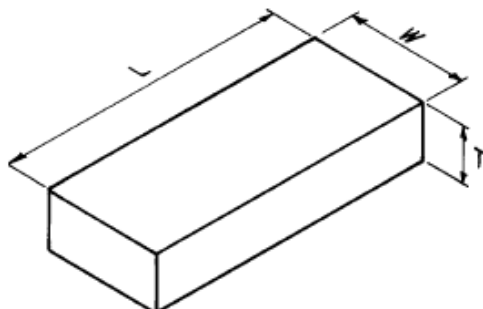


Figura 102 - 3. Angulosidad típica de las partículas gruesas

- 9.2 Forma** – Describir la forma de la grava, guijarros y fragmentos como plana, alargada, o como plana y alargada si cumple con los criterios de la Tabla 102 - 2 y de la Figura 102 - 4. De otra manera, no se debe mencionar la forma. Se deberá indicar la fracción de las partículas que tienen determinada forma; por ejemplo, un tercio de las partículas de grava son planas.

Tabla 102 - 2. Forma de las partículas

DESCRIPCIÓN	CRITERIOS
La longitud es la dimensión mayor; el ancho es la dimensión intermedia y el espesor es la menor dimensión	
Planas:	Partículas con ancho/espesor $> 3$
Alargadas:	Partículas con longitud/ancho $> 3$
Planas y alargadas	Partículas que cumplen criterios de planas y alargadas



L = Longitud  
W = Ancho  
T = Espesor

PLANAS:  $W/T > 3$   
ALARGADAS:  $L/W > 3$   
PLANAS Y ALARGADAS : satisfacen los 2 criterios

Figura 102 - 4. Criterios para la forma de las partículas

- 9.3 Color** – Describir el color. El color es una propiedad importante para la identificación de los suelos orgánicos y, dentro de una región dada, puede ser también útil para identificar materiales de origen geológico similar. Si la muestra contiene capas o parches de colores variables, se deberán anotar y describir los colores que las representan. Se describirá el color para las muestras húmedas. Cuando el color corresponde a una muestra seca, se deberá dejar constancia de ello en el informe (Figura 102 - 5).



Figura 102 - 5. Cambio de color de una partícula de granito de acuerdo con su humedad

- 9.4 Olor** – Describir el olor si es orgánico o poco usual. Suelos que contienen una cantidad significativa de material orgánico tienen, generalmente, el olor característico de la vegetación en putrefacción, el cual se hace más patente en las muestras frescas. Si las muestras están secas, a menudo se puede revivir el olor calentando una muestra previamente humedecida. Cuando el olor es inusual (productos de petróleo, químicos y similares), se debe anotar esta peculiaridad en el informe.
- 9.5 Condición de humedad** – Describir la humedad como seca, húmeda o saturada, de acuerdo con los criterios de la Tabla 102 - 3.

Tabla 102 - 3. Condiciones de humedad

DESCRIPCIÓN	CRITERIOS
Seca:	Ausencia de humedad, polvorosa, seca al tacto
Húmeda:	Húmeda pero sin agua visible
Saturada:	Agua libre visible; generalmente bajo el nivel freático

- 9.6 Reacción con HCl** – Describir la reacción con HCl como nula, débil o fuerte, de acuerdo con los criterios de la Tabla 102 - 4. Puesto que el carbonato de calcio es un agente cementante común, se debe informar de su presencia si la reacción con el ácido clorhídrico diluido es importante.

Tabla 102 - 4. Reacción al HCl

DESCRIPCIÓN	CRITERIOS
Nula:	Sin reacción visible
Débil:	Reacción ligera, se forman burbujas lentamente
Fuerte:	Reacción fuerte, se forman burbujas de inmediato

- 9.7** *Consistencia* – Para suelos intactos de grano fino, describir la consistencia como muy blanda, blanda, firme, dura, o muy dura, de acuerdo con los criterios de la Tabla 102 - 5. Esta observación no es apropiada para suelos con cantidades significativas de grava.

Tabla 102 - 5. Criterios para describir la consistencia

DESCRIPCIÓN	CRITERIOS
Muy blanda:	El dedo pulgar penetra en el suelo más de 25 mm
Blanda:	El dedo pulgar penetra aproximadamente 25 mm
Firme:	El dedo pulgar deja una marca de unos 6 mm
Dura:	El dedo pulgar no deja marca, pero sí lo penetra la uña
Muy dura:	La uña del pulgar no hace mella en el suelo

- 9.8** *Cementación* – Describir la cementación de los suelos intactos de grano grueso como débil, moderada o fuerte, de acuerdo con los criterios de la Tabla 102 - 6.

Tabla 102 - 6. Criterios para describir la cementación

DESCRIPCIÓN	CRITERIOS
Débil:	Se desmorona o rompe al tocarlo, o con poca presión de los dedos
Moderada:	Se desmorona o rompe con considerable presión de los dedos
Fuerte:	No se desmorona ni se rompe con la presión de los dedos

- 9.9 Estructura** – Describir la estructura de los suelos intactos, de acuerdo con los criterios de la Tabla 102 - 7.

Tabla 102 - 7. Criterios para describir la estructura

DESCRIPCIÓN	CRITERIOS
Estratificada:	Capas alternadas de color o material variable, con espesor de por lo menos 6 mm, el cual se debe anotar
Laminada:	Capas alternadas de color o material variable, con espesor menor de 6 mm, el cual se debe anotar
Fisurada:	Rotura según planos definidos de fractura, con poca resistencia a ésta
Lisa:	Planos de fractura lisos o lustrosos, algunas veces estriados
En bloques:	Suelo cohesivo que se puede romper en pequeños terrones angulosos resistentes a una rotura adicional
Lenticular:	Inclusión de pequeñas bolsas de diferentes suelos; tales como pequeños cristales de arena esparcidos en una masa de arcilla. Se debe anotar el espesor
Homogénea:	Un solo color y apariencia uniforme

- 9.10 Rango de los tamaños de las partículas** – Para componentes de grava y arena, describir el rango de los tamaños de las partículas dentro de cada componente como se define en la Sección 2. Por ejemplo: alrededor de 20 % de grava fina a gruesa, alrededor del 40 % de arena de fina a gruesa, etc.

- 9.11 Tamaño máximo de partícula** – Se describe el tamaño máximo de partícula hallado en la muestra, de acuerdo con la siguiente información:

**9.11.1 Tamaño de arena** – Si el tamaño máximo de la partícula es del tamaño de arena, se describe ésta como fina, mediana, o gruesa como se define en la Sección 2. Por ejemplo: el tamaño máximo de la partícula es el de arena media.

**9.11.2 Tamaño de grava** – Si el tamaño máximo de la partícula corresponde a grava, se describe el tamaño máximo como el del tamiz más pequeño que pasará la partícula. Por ejemplo, tamaño máximo de la partícula = 37.5 mm (1½"), [pasa el tamiz de 37.5 mm (1½") pero no el de 19.0 mm (¾")].

- 9.11.3** *Tamaños de cantos rodados y de guijarros o fragmentos de roca* - Si el tamaño máximo de la partícula es el de cantos rodados o el de guijarros, se describe la dimensión máxima de la partícula mayor. Por ejemplo: dimensión máxima 450 mm (18").
- 9.12** *Dureza* – La dureza de la arena gruesa y de las partículas mayores se deberá describir como "dura", o mencionar lo que sucede cuando las partículas son golpeadas con un martillo. Por ejemplo: "las partículas de grava se fracturan con considerable número de golpes de martillo" o "algunas partículas se desmoronan con un golpe de martillo". "Duras" quiere decir partículas que no se agrietan, fracturan ni desmoronan bajo un golpe de martillo.
- 9.13** *Comentarios adicionales* – Se deben presentar comentarios tales como la presencia de raíces o de huecos debidos a éstas; las dificultades presentadas al efectuar los barrenos, al hacer la excavación de trincheras o calicatas, la presencia de mica, etc.
- 9.14** Agregar al suelo un nombre local comercial o una información geológica, ayuda en su identificación. Así mismo, se podrá agregar una clasificación e identificación del suelo de acuerdo con otros sistemas que lo identifiquen como tal.

## 10 IDENTIFICACIÓN DE LA TURBA

---

- 10.1** Una muestra compuesta principalmente de tejidos vegetales en estados variables de descomposición con una textura de fibrosa a amorfa, usualmente de color marrón oscuro a negro y con olor orgánico característico, se deberá designar como un suelo altamente orgánico e identificarse como turba,  $P_t$ , y no se someterá a los procedimientos de identificación descritos más adelante.

## 11 PREPARACIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN

---

- 11.1** La fracción de suelo empleada para la identificación que se hace con esta norma, se basa en la porción de la muestra que pasa por el tamiz de 75 mm (3"). Las partículas mayores deben ser removidas manualmente cuando la muestra esté suelta, o mentalmente en el caso de una muestra intacta, antes de clasificar el suelo.

- 11.2** Se estima y anota el porcentaje de cantos rodados y el de guijarros. Al efectuar estos estimativos visuales, se harán sobre la base de porcentajes en volumen.

*Nota 5: Puesto que los porcentajes en el análisis granulométrico son dados en relación con las masas secas y los estimativos de los porcentajes para gravas, arenas y finos en esta norma lo son también por masa seca, es recomendable que el informe establezca que los porcentajes de fragmentos y guijarros están dados por volumen.*

- 11.3** De la muestra de suelo menor que 75 mm (3"), se estima y anota el porcentaje, en masa seca, de la grava, arena y finos (En el Anexo D se sugieren unos procedimientos).

*Nota 6: Puesto que la composición granulométrica se hace visualmente con base en el volumen, se necesita considerable experiencia para estimar dichos porcentajes con base en el peso seco y se deberán hacer comparaciones frecuentes con análisis efectuados en el laboratorio.*

- 11.3.1** Los porcentajes se estimarán con aproximación del 5 %. La suma de los porcentajes de grava, arena y finos deberá dar 100 %.

- 11.3.2** Si uno de los componentes se halla presente, pero no en cantidad suficiente como para considerar el 5 % de la fracción que pasa el tamiz de 75 mm (3"), se indica su presencia con el término "trazas"; por ejemplo: trazas de finos. Una traza no se debe considerar en el total del 100 % para los componentes.

## 12 IDENTIFICACIÓN PRELIMINAR

---

- 12.1** El suelo es de *grano fino*, si contiene 50 % o más de finos. Se debe seguir el procedimiento de la Sección 13 para la identificación de los suelos de grano fino.
- 12.2** El suelo es de *grano grueso*, si contiene menos del 50 % de granos finos. Se debe seguir el procedimiento de la Sección 14 para identificar suelos gruesos.

## 13 PROCEDIMIENTO PARA IDENTIFICAR LOS SUELOS DE GRANO FINO

---

- 13.1** Se escoge una muestra representativa del material que se va a examinar. Se remueven las partículas mayores que el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40) (arena media y gruesa), hasta disponer de una muestra equivalente a un puñado de material. Esta muestra se usa para realizar las pruebas de resistencia seca, dilatancia y tenacidad.

**13.2 Resistencia seca:**

**13.2.1** Se escoge material suficiente de la muestra para moldear una esfera de alrededor de 25 mm (1") de diámetro, moldeándola hasta que tenga la consistencia de una masilla, agregando agua si fuere necesario.

**13.2.2** Del material moldeado, se elaboran al menos 3 especímenes. Un espécimen para el ensayo consistirá en una esfera de material de 12.5 mm (½") de diámetro, aproximadamente. Se permite que los especímenes de ensayo se sequen al aire, al sol o por medios artificiales, siempre que la temperatura no exceda de 60° C (140° F).

**13.2.3** Si la muestra contiene terrones naturales secos de alrededor de 12.5 mm (½") de diámetro, éstos se pueden usar en lugar de las esferas moldeadas.

*Nota 7: El proceso de moldeo y secado produce resistencias generalmente mayores que las halladas en terrones naturales secos.*

**13.2.4** Se prueba la resistencia de las bolitas o los terrones, apretándolos entre los dedos. Se anota su resistencia como nula, baja, mediana, alta, o muy alta, de acuerdo con los criterios de la Tabla 102 - 8. Si se usan terrones naturales secos, se deben desechar los resultados de los que contengan partículas de arena gruesa.

**13.2.5** La presencia de materiales cementantes de alta resistencia que son solubles en agua, como el carbonato de calcio, puede causar resistencias secas excepcionalmente altas. La presencia de este carbonato se puede detectar, generalmente, por la intensidad de la reacción con el ácido clorhídrico diluido (ver numeral 9.6).

Tabla 102 - 8. Criterios para describir la resistencia en seco

DESCRIPCIÓN	CRITERIOS
Nula:	La muestra se desmorona bajo la simple manipulación
Baja:	La muestra seca se desmorona hasta pulverizarse con ligera presión de los dedos
Mediana:	La muestra seca se rompe en fragmentos o se desmorona bajo una presión considerable de los dedos
Alta:	La muestra seca no se rompe con la presión de los dedos, pero se romperá al aprisionarla con el pulgar sobre una superficie dura
Muy alta:	La muestra no se puede romper al aprisionarla con el pulgar sobre una superficie dura

**13.3 Dilatancia:**

**13.3.1** Se escoge suficiente material para moldear una esfera de, aproximadamente, 12.5 mm ( $\frac{1}{2}$ " ), de diámetro, se moldea y se agrega agua, si fuere necesario, hasta que el suelo adquiera consistencia blanda pero no pegajosa.

**13.3.2** Con una navaja o una pequeña espátula se aplana la esfera de suelo así formada en la palma de una de las manos; se agita horizontalmente golpeándola contra la otra mano varias veces. Se anota la reacción cuando aparezca el agua en la superficie del suelo. Se exprime la muestra cerrando la mano o apretándola entre los dedos y se anota la reacción como nula, lenta o rápida, de acuerdo con los criterios de la Tabla 102 - 9. La reacción es la velocidad con la cual aparece el agua mientras se sacude y desaparece cuando se aprieta.

Tabla 102 - 9. Criterios para describir la dilatancia

DESCRIPCIÓN	CRITERIOS
Nula:	No hay cambio visible en la muestra
Lenta:	El agua aparece lentamente en la superficie de la muestra al sacudirla, pero no desaparece o lo hace lentamente al apretarla
Rápida:	El agua aparece rápidamente sobre la superficie de la muestra mientras se la sacude y desaparece rápidamente al apretarla

**13.4 Tenacidad**

**13.4.1** Después del examen de dilatancia, la muestra se conformará en una pastilla alargada y se enrollará con la mano sobre una superficie lisa o entre las palmas de las manos hasta formar rollos de cerca de 3 mm ( $\frac{1}{8}$ " ) de diámetro. (Si la muestra está muy húmeda para hacer fácilmente los rollos, se extiende en una capa delgada para que pierda agua por evaporación). Se desharán luego los rollitos formados y se volverán a enrollar repetidamente hasta que se desmoronen a un diámetro de 3 mm ( $\frac{1}{8}$ " ). Cuando el rollo se desmorona a este diámetro, el suelo está cerca del límite plástico. Se anotará la presión requerida para formar los rollitos cerca del límite plástico así como su resistencia. Después de que el rollito se desmorone, se deberán juntar



los terroncitos que quedan y amasarlos hasta que se desmoronen y se anotará entonces la tenacidad del material durante el amasado.

- 13.4.2** Se describe la tenacidad de terrones y rollitos como baja, mediana o alta, de acuerdo con los criterios de la Tabla 102 - 10.

Tabla 102 - 10. Criterios para describir la tenacidad

DESCRIPCIÓN	CRITERIOS
Baja:	Solo se requiere ligera presión para formar rollitos cerca del límite plástico. Los rollitos y los terrones son débiles y blandos
Mediana:	Se requiere presión mediana para formar rollitos cerca del límite plástico. Los rollitos y los terrones tienen mediana tenacidad
Alta:	Se requiere una presión considerable para formar rollitos cerca del límite plástico. Los rollitos y los terrones tienen muy alta tenacidad

- 13.5** *Plasticidad* - Con base en las observaciones hechas durante el ensayo de tenacidad, se debe describir la plasticidad del material según los criterios dados en la Tabla 102 - 11.

- 13.6** Se decide si el suelo es inorgánico u orgánico de grano fino (Ver numeral 13.8); si fuere inorgánico, se seguirán los pasos dados en el numeral 13.7.

- 13.7** Identificación de los suelos inorgánicos de grano fino:

**13.7.1** Se identifica el suelo como arcilla magra, CL, cuando presenta resistencia seca de mediana a alta, ninguna o poca dilatancia, y tenacidad y plasticidad medianas (Ver Tabla 102 - 12).

**13.7.2** Se identifica como arcilla grasa, CH, cuando el suelo tiene resistencia en seco entre elevada y muy alta, ninguna dilatancia, y tenacidad y plasticidad altas (Ver Tabla 102 - 12).

**13.7.3** Se identifica el suelo como un limo, ML, cuando tiene resistencia seca baja o nula, dilatancia de lenta a rápida, y tenacidad y plasticidad bajas, o si es no plástico (Ver Tabla 102 - 12).

Tabla 102 - 11. Criterios para describir la plasticidad

DESCRIPCIÓN	CRITERIOS
No plástico:	No se pueden formar rollitos de 3 mm de diámetro con ningún contenido de humedad
Baja:	Se pueden formar rollitos con dificultad y no se pueden formar terrones cuando el suelo tiene una humedad inferior al límite plástico
Media:	Es fácil formar el rollito y el límite plástico se alcanza con rapidez. No se puede volver a enrollar la misma muestra después que alcanza el límite plástico. Los terrones se desmoronan cuando se secan por debajo del límite plástico.
Alta:	Toma un tiempo considerable formar rollos y remoldearlos para alcanzar el límite plástico, pero la muestra se puede volver a enrollar varias veces después de alcanzar el límite plástico. Se pueden formar terrones sin que se desmoronen cuando tienen una humedad inferior al límite plástico

**13.7.4** Se identifica el suelo como un limo elástico, MH, cuando tiene resistencia en seco de baja a mediana, dilatancia de nula a lenta, y tenacidad y plasticidad de bajas a medias (Ver Tabla 102 - 12). Estas propiedades son similares a las de una arcilla magra; sin embargo, el limo se secará rápidamente en la mano y dará la sensación de mucha suavidad cuando está seco. Algunos suelos que clasificarían como MH son difícilmente distinguibles de la arcilla magra y se pueden requerir, entonces, ensayos de laboratorio para su adecuada identificación.

Tabla 102 - 12. Identificación de suelos inorgánicos de grano fino mediante ensayos manuales

SÍMBOLO DEL SUELO	RESISTENCIA SECA	DILATANCIA	TENACIDAD
ML:	Nula a baja	Lenta a rápida	Baja, no se pueden formar rollitos
CL:	Media a alta	Nula a lenta	Media
MH:	Baja a media	Nula a lenta	Baja a media
CH:	Alta a muy alta	Nula	Alta

### 13.8 Identificación de suelos orgánicos de grano fino:

**13.8.1** Se identificará el suelo como orgánico OL/OH, cuando contiene suficientes partículas orgánicas para influir sobre sus propiedades. Los suelos orgánicos tienen generalmente color de marrón oscuro a negro y pueden tener olor orgánico. A menudo, los suelos orgánicos cambian de color, por ejemplo de negro a marrón cuando se exponen al aire. Algunos suelos orgánicos aclaran notablemente su color cuando se secan al aire. Los suelos orgánicos no presentan normalmente tenacidad ni plasticidad alta y los rollitos para el ensayo de tenacidad serán esponjosos.

*Nota 8: En algunos casos, con práctica y experiencia, puede ser posible identificar más ampliamente los suelos orgánicos como limos o como arcillas orgánicas, OL, u OH, y se pueden correlacionar la dilatancia, la resistencia seca y la tenacidad con los ensayos de laboratorio, para identificarlos en algunos depósitos de materiales similares de origen geológico conocido.*

**13.8.2** Si se estima que el suelo tiene de 15 a 25 % de arena o grava, o ambas, deben ser adicionadas las palabras “con arena” o “con grava” (la que sea más predominante) al nombre del grupo. Por ejemplo: “arcilla magra con arena, CL” o “limo con grava, ML” (ver Figura 102 - 1.a y 1.b). Si el porcentaje de arena es igual al porcentaje de grava, se usa “con arena”.

**13.8.3** Si se estima que el suelo tiene 30 % o más de arena o grava, o ambas, el término “arenoso” o “gravoso” debe ser adicionado al nombre del grupo. Se adiciona el término “arenoso” si tiene más arena que grava y se adiciona el término “gravoso” si tiene más grava que arena. Por ejemplo: “arcilla magra arenosa, CL”, “arcilla grasa gravosa, CH” o “limo arenoso, ML” (ver Figura 102 - 1.a y 1.b). Si el porcentaje de arena es igual al porcentaje de grava, se usa “arenoso”.

## 14 PROCEDIMIENTO PARA IDENTIFICAR SUELOS DE GRANO GRUESO (Contenido de finos menor de 50 %)

---

**14.1** El suelo es grava, si se estima que el porcentaje de grava es mayor que el de arena.

**14.2** El suelo es arena, si se estima que el porcentaje de grava es igual o menor que el de arena.

- 14.3** El suelo es grava limpia o arena limpia, cuando se estima que el porcentaje de finos es de 5 % o menos.
- 14.3.1** Se identifica el suelo como grava bien gradada, GW, o como arena bien gradada, SW, si tiene partículas dentro de un intervalo amplio de tamaños con una cantidad sustancial de partículas en los tamaños intermedios.
- 14.3.2** Se identifica el suelo como grava pobremente gradada, GP, o arena pobremente gradada, SP, si tiene un solo tamaño predominante (uniformemente gradado), o si posee un amplio margen de tamaños con faltantes en los grados intermedios (gradación con saltos bruscos y vacíos).
- 14.4** El suelo puede ser una grava con finos o una arena con finos, si se estima que el porcentaje de éstos es del 15 % o mayor.
- 14.4.1** Se identifica el suelo como una grava arcillosa, GC, ó una arena arcillosa, SC, si los finos son arcillosos cuando se determinan aplicando los procedimientos de la Sección 13.
- 14.4.2** Se identifica el suelo como grava limosa, GM, o arena limosa, SM, si los finos son limosos, cuando se determinan aplicando los procedimientos de la Sección 13.
- 14.5** Si se estima que el suelo contiene del orden de 10 % de finos, se le da una identificación doble mediante dos símbolos para el grupo.
- 14.5.1** El primer símbolo del grupo deberá corresponder a grava o arena limpia (GW, GP, SW, SP) y el segundo a grava o arena con finos (GC, GM, SC, SM).
- 14.5.2** El nombre deberá corresponder al del primer símbolo del grupo, más las palabras "con arcilla" ó "con limo", para indicar el carácter plástico de los finos. Por ejemplo: grava bien gradada con arcilla, GW–GC, o arena pobremente gradada con limo, SP–SM (ver Figura 102 - 2).
- 14.6** Si la muestra es predominantemente arena o grava, pero se estima que contiene 15 % o más de otros constituyentes de materiales de grano grueso, se deben agregar las palabras "con grava" ó "con arena" al nombre del grupo. Por ejemplo: "grava pobremente gradada con arena, GP" ó "arena arcillosa con grava, SC" (ver Figura 102 - 2).

- 14.7** Si la muestra de campo contiene cantos rodados o guijarros, se deberán añadir las palabras "con cantos rodados" ó "con cantos rodados y guijarros" al nombre del grupo. Por ejemplo: "grava limosa con guijarros, GM".

## 15 INFORME

- 15.1** El informe deberá incluir la información indicada en la Tabla 102 - 13 en cuanto al origen y a los ítems indicados.

*Nota 9: Ejemplo: Grava arcillosa con arena y guijarros, GC - Grava de sub-redondeada a sub-angulosa con 50 % de fina a gruesa; arena sub-redondeada con alrededor del 30 % de fina a gruesa; alrededor del 20 % de finos de plasticidad media, elevada resistencia en seco, dilatancia nula, tenacidad mediana; reacción débil al HCl; la muestra original del terreno contenía alrededor de 5 % (en volumen) de guijarros sub-redondeados de dimensión máxima, 150 mm. Condiciones en el sitio - firme, seca, homogénea, marrón. Interpretación geológica - abanico aluvial.*

*Nota 10: En los Anexos A y B se muestran otros ejemplos de descripciones e identificaciones de suelos.*

*Nota 11: Si se desea, los porcentajes de grava, arena y finos se pueden establecer en términos que indiquen intervalos de porcentajes, en la siguiente forma:*

- Trazas- Hay partículas del material, pero en cantidad inferior a 5 %
- Pocas - 5 a 10%
- Pequeñas - 15 a 25%.
- Algunas - 30 a 45%.
- Abundantes - 50 a 100%.

Tabla 102 - 13. Lista de comprobación para la descripción de los suelos

1. Nombre del grupo
2. Símbolo del grupo
3. % de fragmentos de grava o guijarros, o ambos
4. % de grava, arena o finos, o los tres (masa seca)
5. Rango del tamaño de partículas:
  - Grava – fina, gruesa
  - Arena – fina, media, gruesa
6. Angulosidad de las partículas: angulosa, sub-angulosa, sub-redondeada, redondeada
7. Forma de las partículas (si corresponde): plana, alargada, plana y alargada
8. Tamaño máximo de partícula o dimensión máxima

9. Dureza de la arena gruesa y de las partículas más gruesas
10. Plasticidad de los finos: no plásticos, baja, media, alta
11. Resistencia seca: nula, baja, media, alta y muy alta.
12. Dilatancia: nula, lenta, rápida.
13. Tenacidad: baja, media, alta.
14. Color (en estado húmedo).
15. Olor (mencionarlo solamente si fuera orgánico o inusual).
16. Humedad: seca, húmeda, saturada.
17. Reacción con HCl: nula, débil, fuerte.
18. Para muestras inalteradas:
  - Consistencia (únicamente para suelos finos): muy blanda, blanda, firme, dura, muy dura.
19. Estructura: estratificada, laminada, lisa, en bloques, lenticular, homogénea.
20. Cementación: débil, moderada, fuerte.
21. Nombre del sitio.
22. Descripción e interpretación geológica.
23. Comentarios adicionales: presencia de raíces o de huecos de raíces; presencia de mica, yeso, etc.; recubrimientos superficiales de las partículas de los agregados gruesos, formación de cavernas o de costras en los hoyos de barrenos o en las paredes de apiques o trincheras ; dificultad al barrenar o al excavar; etc.

**15.2** Si en la descripción se ha identificado el suelo con un símbolo y un nombre para el grupo como se establece en la norma INV E-181, se debe establecer claramente en los gráficos, tablas resumen, informes, y demás, que los símbolos y nombres se basan en los procedimientos de descripción visual y manual.

## 16 PRECISIÓN Y SESGO

---

- 16.1** Esta norma provee información cualitativa únicamente; por lo tanto, no son aplicables a la misma los enunciados sobre precisión y sesgo.

## 17 NORMAS DE REFERENCIA

---

ASTM D 2488 – 09a

### ANEXO A (Informativo)

#### EJEMPLOS DE DESCRIPCIÓN VISUAL DE SUELOS

---

- A.1** Los siguientes ejemplos muestran la manera como se puede reportar la información requerida en el numeral 15.1. La información a incluir en las descripciones se debe basar en las circunstancias y necesidades de cada caso particular:
- A.1.1** *Grava bien gradada con arena (GW)* – Aproximadamente 75% de grava entre fina y gruesa, dura y sub-angulosa; 25% de arena fina a gruesa, dura y sub-angulosa; trazas de finos; tamaño máximo 75 mm; color marrón, seca; sin reacción con el HCl.
  - A.1.2** *Arena limosa con grava (SM)* – Más o menos 60% de arena fina; con 25% de finos de baja plasticidad de baja resistencia en estado seco, dilatancia rápida y tenacidad baja; 15% de grava fina, dura y sub-redondeada; algunas partículas de la grava se fragmentan al golpearlas con un martillo; tamaño máximo 25 mm; sin reacción con el HCl.
  - A.1.3** *Suelo orgánico (OL/OH)* – Casi 100% de finos de baja plasticidad, baja dilatancia, baja resistencia en estado seco y baja tenacidad; húmedo, de color marrón y olor orgánico; reacción débil con el HCl.
  - A.1.4** *Arena limosa con finos orgánicos (SM)* – Aproximadamente el 75% está constituido por una arena rojiza, entre fina y gruesa, con partículas duras y sub-angulosas. El 25% restante corresponde a finos limosos y orgánicos no plásticos, de color marrón oscuro, sin resistencia en estado seco y baja dilatancia; reacción débil con el HCl.

**A.1.5** *Grava pobremente gradada con limo, arena, con guijarros y fragmentos de roca (GP-GM)* – Aproximadamente el 75% está constituido por grava fina a gruesa, dura y entre sub-redondeada y sub-angulosa; más o menos el 15% es una arena fina, dura, de sub-redondeada y sub-angulosa; un 10% son finos no plásticos húmedos y de color oscuro, sin reacción con el HCl. La muestra original contenía, aproximadamente, 5% (en volumen) de cantos rodados y guijarros sub-redondeados, con una dimensión máxima de 450 mm (18”).

## **ANEXO B (Informativo)**

### **APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACIÓN PARA DESCRIBIR ESQUISTOS, ARCILLOLITAS, CONCHAS, ESCORIA, ROCA TRITURADA Y SIMILARES**

---

- B.1** El procedimiento de identificación de esta norma se puede usar para describir materiales que existen in-situ, tales como esquistos, arcillolitas, arenisca, limolita, etc., que se convierten posteriormente en suelos tras un procesamiento en el campo o en el laboratorio (trituration, desleimiento, etc.).
- B.2** Materiales como conchas, escoria, roca triturada, se deben identificar como tales. Sin embargo, los procedimientos usados en esta norma para describir los tamaños de las partículas y las características de plasticidad se pueden emplear para describir el material. Si se desea, se puede asignar una identificación con símbolo y nombre de grupo para ayudar a la descripción del material.
- B.3** Los símbolos y nombres de grupo se deben escribir entre comillas o hacerlos notorios de alguna otra manera (Ver ejemplos en el numeral B.4).
- B.4** He aquí algunos ejemplos sobre la manera como los símbolos y nombres de grupo se pueden asignar a materiales que no ocurren en la naturaleza como suelos:
- B.4.1** *Trozos de esquisto* – Fragmentos de 50 a 100 mm (2 a 4”) de esquisto, recuperados mediante barrena, secos, de color oscuro, sin reacción con el HCl. Sometidos a desleimiento durante 24 horas, dan lugar a un material que se identifica como “Arcilla magra arenosa (CL)” con,



aproximadamente, 60% de finos de plasticidad media y de alta resistencia en estado seco, sin dilatancia y con tenacidad media; 35% de arena media, dura; y 5% de fragmentos de esquisto del tamaño de grava.

- B.4.2** *Arenisca triturada* – Producto de una trituradora comercial, se puede describir como “Arena pobremente gradada con limo (SP-SM)”, correspondiendo 90% a una arena media y el 10% restante a finos amarillentos no plásticos.
- B.4.3** *Conchas rotas* – 60% de la muestra está constituida por conchas rotas de tamaño uniforme de grava, con 30% de piezas del tamaño de la arena y 10% de finos no plásticos; muestra que se puede identificar como “Grava pobremente gradada con arena y limo (GP-GM)”.
- B.4.4** *Roca triturada* – Material procesado a partir de la trituración de guijarros y de partículas de grava, definido como “Grava pobremente gradada (GP)” y constituido aproximadamente por 90% de partículas de tamaño de grava fina, dura y angulosa y 10% de arena gruesa, dura y angulosa. El material no presenta reacción con el HCl, está seco y su color es oscuro.

## ANEXO C (Informativo)

### PROCEDIMIENTO SUGERIDO PARA EL USO DE SÍMBOLOS FRONTERIZOS PARA SUELOS CON DOS IDENTIFICACIONES POSIBLES

---

- C.1** Debido a que esta norma se basa en estimaciones de la distribución de los tamaños de las partículas y de las características de plasticidad, puede resultar difícil identificar claramente un suelo como perteneciente a una categoría. Para indicar que el suelo puede caer en uno de dos posibles grupos básicos, se puede usar un símbolo fronterizo con dos símbolos separados por una línea diagonal; por ejemplo, SC/CL o CL/CH.
- C.1.1** Se puede usar un símbolo fronterizo, cuando el porcentaje estimado de finos se encuentra entre 45 y 55%. Uno de los símbolos puede corresponder a un suelo de grano grueso con finos y el otro a un suelo de grano fino; por ejemplo: GM/ML o CL/SC.

- C.1.2** Se puede utilizar el símbolo fronterizo cuando se estima que los porcentajes de arena y grava son similares. Ejemplos: GP/SP, SC/GC, GM/SM. Es prácticamente imposible encontrar un suelo que tenga el símbolo fronterizo GW/SW.
- C.1.3** El símbolo fronterizo se puede emplear cuando el suelo puede ser bien o mal gradado. Ejemplo: GW/GP, SW/SP. Así mismo, cuando puede ser un limo o una arcilla (CL/ML, CH/MH, SC/SM).
- C.1.4** También se puede utilizar el símbolo fronterizo cuando un suelo de grano fino presenta propiedades que indican que se encuentra en el límite entre la baja y la alta compresibilidad. Ejemplo: CL/CH, ML/MH.
- C.2** El orden en el cual se deben colocar los símbolos fronterizos de una muestra de suelo debe reflejar su similitud con los suelos que lo rodean. Por ejemplo, si los suelos en una zona de préstamo han sido identificados principalmente como CH, pero se considera que una de las muestras presenta un símbolo fronterizo entre CL y CH, el símbolo a usar para respetar la similitud será CH/CL.
- C.3** El nombre del grupo para un suelo con un símbolo fronterizo debe corresponder al del primer símbolo, salvo en los siguientes casos: CL/CH para una arcilla magra a grasa; ML/CL para un limo arcilloso y CL/ML para una arcilla limosa.
- C.4** Los símbolos fronterizos no se deben usar de manera indiscriminada. Se debe realizar el mayor esfuerzo posible para ubicar el suelo en un grupo de símbolo sencillo.

## ANEXO D (Informativo)

### PROCEDIMIENTO SUGERIDO PARA ESTIMAR LOS PORCENTAJES DE GRAVA, ARENA Y FINOS DENTRO DE UNA MUESTRA DE SUELO

---

- D.1** *Método del recipiente* – El porcentaje relativo de materiales grueso y fino se puede estimar sacudiendo una mezcla de suelo y agua en un recipiente transparente y permitiendo luego que se asiente. Las partículas más gruesas caerán al fondo y, sucesivamente, se irán depositando las más finas con el transcurso del tiempo; las partículas del tamaño de arena tardan unos 20 a 30

segundos en sedimentar. Las proporciones relativas se pueden determinar, estimando el volumen de cada tamaño de manera separada. Es necesario correlacionar los resultados de la aplicación de este método con determinaciones de la granulometría en el laboratorio.

- D.2** *Método visual* – Se visualizan mentalmente las partículas del tamaño de grava colocadas en una o más bolsas y, en seguida, se hace lo mismo con las partículas de arena revueltas con los finos. Entonces, se compara mentalmente el número de bolsas para estimar el porcentaje de partículas mayores y menores de 4.75 mm (abertura del tamiz No. 4). La distribución del pasante del tamiz de 4.75 mm (No. 4) entre arena y finos, se estimará a partir de la prueba mencionada en el numeral siguiente.
- D.3** *Ensayo de lavado* – Se toma una cantidad suficiente de material menor de 4.75 mm para formar un cubo de suelo de 25 mm (1") de lado. A continuación, se corta el cubo por la mitad y se colca una de las mitades en una cubeta. Se lavan y decantan los finos del material colocado en la cubeta hasta alcanzar agua clara y, entonces, se compara la cantidad remanente con el volumen de la mitad del cubo que no se sometió a lavado, para estimar los porcentajes de arena y finos en volumen. Aunque el método expuesto en esta norma se basa en distribuciones porcentuales de acuerdo al peso, la comparación volumétrica da una indicación razonable sobre la distribución de los materiales.
- D.3.1** Durante el lavado de la muestra, se deben romper los terrones con los dedos, con el fin de obtener los porcentajes correctos.

## ANEXO E (Informativo)

### SÍMBOLOS ABREVIADOS PARA LA CLASIFICACIÓN DE SUELOS

---

- E.1** Debido a la falta de espacio, en algunos casos resulta útil el empleo de un sistema abreviado para indicar el símbolo y el nombre de la clasificación de un suelo. Esta situación se puede presentar al elaborar gráficos, llenar formatos y tablas de datos, etc.
- E.2** Este sistema abreviado no reemplaza el nombre completo ni la información descriptiva general, pero resulta útil en presentaciones suplementarias, cuando ya ha sido referida la descripción completa.

- E.3** La abreviación consiste en utilizar prefijos y sufijos en minúsculas en el símbolo abreviado, junto al símbolo de clasificación que estará entre paréntesis. Por ejemplo:

SÍMBOLO Y NOMBRE DE GRUPO COMPLETOS	SÍMBOLO ABREVIADO
CL, arcilla magra arenosa SP-SM, arena pobremente gradada con grava ML, limo arenoso con grava y fragmentos de roca	s(CL) (SP-SM)g s(ML)gf

*Nota E.1: Los términos "arenoso", "limoso", etc., dan lugar a letras que se colocan antes del símbolo del suelo; mientras que los términos "con grava", "con limo", etc., se deben colocar al final (Ver numerales 13.8.2 y 13.8.3).*

*Nota E.2: En los símbolos abreviados los "Cantos rodados" se designan con la letra "r" y los "guijarros o fragmentos de roca" con la letra "f"*

# CONSERVACIÓN Y TRANSPORTE DE MUESTRAS DE SUELOS

INV E – 103 – 13

## 1 OBJETO

---

- 1.1** Esta norma establece métodos para la conservación de las muestras inmediatamente después de obtenidas en el terreno, así como para su transporte y manejo.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E–103–07.

## 2 RESUMEN DE LOS MÉTODOS

---

- 2.1** Los métodos descritos en esta norma se distribuyen en cuatro grupos, así:
- 2.1.1** *Grupo A* – Muestras para las cuales se requiere únicamente identificación visual.
  - 2.1.2** *Grupo B* – Muestras para las cuales se necesitan únicamente ensayos de contenidos de humedad y clasificación, compactación y densidad relativa, o el perfil de la perforación; y muestras en bruto a ser remoldeadas o compactadas en especímenes para someterlos a ensayos de presión y porcentaje de expansión, consolidación, permeabilidad, resistencia al corte, CBR, estabilómetro, etc.
  - 2.1.3** *Grupo C* – Muestras intactas, formadas naturalmente o preparadas en el campo para determinaciones de peso unitario; o para realizar medidas de presión y porcentaje de expansión, consolidación, ensayos de permeabilidad y de resistencia al corte, con y sin medidas de esfuerzo–deformación y de cambios de volumen, incluyendo ensayos dinámicos y cíclicos.
  - 2.1.4** *Grupo D* – Muestras frágiles o altamente sensibles, para las cuales se requieren los ensayos mencionados para el Grupo C.
- 2.2** El método de conservación y transporte de muestras de suelos que se vaya a emplear, se deberá fijar en los documentos del proyecto.

### 3 IMPORTANCIA Y USO

---

- 3.1** El empleo de los diferentes procedimientos descritos en esta norma depende del tipo de muestras obtenidas, del tipo de ensayo y de las propiedades de ingeniería requeridas, de la fragilidad y sensibilidad del suelo y de las condiciones climáticas. En todos los casos, el propósito primordial es preservar las condiciones propias de cada muestra.
- 3.2** Los métodos descritos en esta norma fueron desarrollados inicialmente para muestras de suelo que se han de ensayar para obtener las propiedades de ingeniería; sin embargo, también se pueden aplicar a muestras de suelo y de otros materiales obtenidas con otros fines.

### 4 EQUIPO

---

- 4.1** El tipo de materiales y de recipientes requeridos, depende de las condiciones y requerimientos enunciados para los grupos A a D mencionados en la Sección 2 y, también, del clima, del medio de transporte y de la distancia (Ver los casos de las Figuras 103 - 1 a 103 - 6).
- 4.1.1** *Parafina para sellado* – Puede ser parafina, cera microcristalina, cera de abejas, ceresina, carnauba, o una combinación de ellas.
- 4.1.2** *Discos de metal* – De alrededor de 2 mm (1/16") de espesor y con un diámetro ligeramente menor que el diámetro interno del tubo muestreador, tubería de revestimiento o anillo, y para utilizarlos conjuntamente con parafina, tapas y cinta, o ambos.
- 4.1.3** *Discos de madera* – Encerados previamente, de 25 mm (1") de espesor y con un diámetro ligeramente menor que el diámetro interior del tubo muestreador o de la tubería de revestimiento.
- 4.1.4** *Cinta* – Puede ser plástica a prueba de agua, adhesiva de fricción, o de pegar tubos.
- 4.1.5** *Estopa de algodón* – Para emplear con parafina en capas alternadas.
- 4.1.6** *Tapas* – Pueden ser plásticas, de caucho o de metal, para colocar en los extremos de los tubos de pared delgada, muestreadores y anillos, junto con cinta o parafina.

**4.1.7** *Empaques (aros tóricos)* – Para sellar los extremos de las muestras dentro de los tubos de pared delgada, con un aro que se expande mecánicamente contra sus paredes.

*Nota 1: Se prefieren las tapas de plástico dilatables. Las tapas dilatables metálicas sellan igualmente bien; sin embargo, en almacenamientos a largo plazo, pueden causar problemas de corrosión.*

**4.1.8** *Frascos* – De boca ancha, con tapa y empaque de caucho o tapa con un papel sellante, y de un tamaño adecuado para recibir confortablemente la muestra, comúnmente de 250 ml, 500 ml, y 1000 ml.

**4.1.9** *Bolsas* – Plásticas, de fique, fibra, lona, etc.

**4.1.10** *Material para empacar* – Que proteja contra vibraciones y choques.

**4.1.11** *Aislamiento* – Ya sea polietileno expandido, burbujas plásticas o del tipo de espuma, que resista cambios de temperatura perjudiciales para el suelo.

**4.1.12** *Cajas* – De forma cúbica, y elaboradas con tablas de 13 a 19 mm ( $\frac{1}{2}$ " a  $\frac{3}{4}$ ") de espesor.

**4.1.13** *Recipientes cilíndricos* – De dimensiones un poco mayores que las de los tubos de pared delgada.

**4.1.14** *Guacales o cajas para transporte* – De construcción apropiada para protección contra choques y vibraciones.

*Nota 2: Se deben considerar las limitaciones de longitud, embalaje y peso para el transporte comercial.*

**4.1.15** *Material para la identificación* – Incluye los elementos necesarios para identificar adecuadamente la (s) muestra (s), tales como rótulos y marcadores.

## 5 PRECAUCIONES

---

**5.1** La preservación y el transporte de muestras de suelos puede implicar el contacto con materiales, equipos u operación que llevan algún riesgo. Es de responsabilidad de quien utilice esta norma, consultar y establecer medidas de

seguridad y sanidad apropiadas y determinar la posibilidad de aplicar limitaciones reglamentarias antes de su empleo.

- 5.2** Los recipientes que puedan contener materiales radioactivos, tóxicos o contaminantes, se deben acompañar de instrucciones especiales, descripciones y marcas de prevención.
- 5.3** Es altamente recomendable el uso de registros de trazabilidad y debe ser obligatorio para el caso de muestras con sospechas de contaminación.
- 5.3.1** La posesión de todas las muestras debe ser sometida a trazabilidad, desde su toma hasta su disposición final. Las muestras deben ser manipuladas por el menor número de personas que sea posible.
- 5.3.2** La persona que toma la muestra es la responsable de iniciar el diligenciamiento del registro de trazabilidad, anotando el nombre del proyecto, el sitio del cual se ha tomado la muestra, el tipo y la identificación de ésta, la fecha y el número y la clase de recipientes empleados para su conservación y transporte.
- 5.3.3** Cada envío independiente debe tener su propio registro de trazabilidad.
- 5.3.4** Cuando las muestras pasen de una mano a otra, tanto la persona que las entrega como quien las recibe deben firmar el registro anotando, además, la fecha y la hora y verificando que el registro de trazabilidad no presente vacíos o inconsistencias.

## 6 PROCEDIMIENTO

---

- 6.1** *Para todas las muestras* – Las muestras se deben identificar apropiadamente en la siguiente forma, con membretes, rótulos y marcas, antes de proceder a su transporte:
- 6.1.1** Nombre o número de la obra, o ambos.
- 6.1.2** Fecha del muestreo.
- 6.1.3** Número y localización de la muestra y de la perforación.
- 6.1.4** Profundidad o cota, o ambas.



- 6.1.5 Orientación de la muestra.
  - 6.1.6 Instrucciones para transporte especial o manejo en el laboratorio, o ambas, incluyendo la forma como debe quedar colocada la muestra.
  - 6.1.7 Datos del ensayo de penetración (norma INV E-111), si aplican.
  - 6.1.8 Las muestras subdivididas deben ser identificadas mientras mantengan asociación con la muestra original.
  - 6.1.9 Registro de identificación de la muestra, si se requiere.
- 6.2 *Grupo A* – Las muestras se transportan en cualquier clase de recipiente, mediante cualquier medio de transporte disponible. Si se transportan comercialmente, el recipiente sólo necesita cumplir con las exigencias mínimas de la agencia transportadora y con los requisitos restantes para asegurarse contra la pérdida de la muestra.
- 6.3 *Grupo B:*
- 6.3.1 Estas muestras se deberán conservar y transportar en recipientes o empaques sellados a prueba de humedad, todos los cuales deberán ser de espesor y resistencia suficientes para evitar su rotura. Los recipientes o empaques pueden ser bolsas plásticas, frascos de vidrio o de plástico (siempre que sean a prueba de agua), tubos de pared delgada, muestreadores y anillos. Las muestras cúbicas y cilíndricas se deben envolver en láminas plásticas adecuadas, en papel de aluminio, o ambas (nota 3) y cubrirse con varias capas de parafina, o sellarse con varias capas de estopa y parafina.
  - 6.3.2 Estas muestras se pueden enviar a través de cualquier medio disponible de transporte. Se pueden remitir tal como fueron preparadas o colocarse en recipientes más grandes, como costales, cajas de cartón o de madera o canecas.
- Nota 3: Algunos suelos pueden perforar el papel de aluminio, debido a corrosión. En tales casos, se debe evitar el contacto directo.*
- 6.3.3 *Bolsas plásticas* – Las bolsas plásticas se deberán colocar tan ajustadamente como sea posible alrededor de la muestra, expulsando todo el aire posible. El plástico deberá ser de 0.003" o más grueso, para evitar escapes.

- 6.3.4** *Frascos de vidrio o de plástico* – Si las tapas de los frascos no están selladas con empaques de caucho o con papel parafinado, se deberán sellar con parafina o con cinta aislante.
- 6.3.5** *Cubos plásticos* – Si sus tapas no son herméticas, se deberán sellar con parafina o con cinta.
- 6.3.6** *Tubos de pared delgada:*
- 6.3.6.1** *Empaques ensanchables* – El método más utilizado para sellar los extremos de las muestras dentro de los tubos es con empaques plásticos expansibles.
  - 6.3.6.2** *Discos parafinados* – Para un sellamiento a corto plazo, la parafina es aceptable. A largo plazo (más de 3 días), se deben emplear ceras microcristalinas o combinadas con 15 % de cera de abejas o resinas para una mejor adherencia a la pared del tubo y para reducir la contracción. Varias capas delgadas de parafina son mejores que una sola capa gruesa. El espesor final deberá ser, como mínimo, de 10 mm (0.4").
  - 6.3.6.3** *Tapas de los extremos* – Las tapas de metal, caucho o de plástico para los extremos, se deberán sellar con cinta. Para almacenamiento a largo plazo (más de 3 días), también se deberán parafinar, aplicando dos o más capas.
  - 6.3.6.4** *Estopa de algodón y parafina* – Se deben emplear capas alternadas (un mínimo de dos de cada una) de estopa y parafina para sellar cada extremo del tubo y para estabilizar la muestra.
- Nota 4: Cuando sea necesario, se deberán colocar separadores o material adecuado de empaque, o ambos, antes de sellar los extremos del tubo, para proporcionar el confinamiento debido.*
- 6.3.7** *Tubos de revestimiento y anillos:* Véanse los numerales 6.3.6.3 y 6.3.6.4.
- 6.3.8** *Muestras expuestas:*
- 6.3.8.1** *Las muestras cilíndricas, cúbicas u otras muestras envueltas en plástico*, como polietileno y polipropileno u hojas delgadas

de papel de estaño o aluminio, se deberán proteger posteriormente con un mínimo de tres capas de parafina.

**6.3.8.2** *Las muestras cilíndricas y cubos envueltos en estopa y parafina, se deberán sellar con un mínimo de tres capas de cada una, colocadas alternadamente.*

**6.3.8.3** *Las muestras en cajas de cartón se deben empacar en tal forma, que la parafina se pueda vaciar completamente alrededor de la muestra, rellenando el espacio entre ésta y las paredes de la caja. La parafina se deberá colocar a una temperatura suficiente para que fluya con facilidad, pero no tan caliente como para que penetre dentro de los vacíos del suelo. Generalmente, las muestras se deberán envolver en plástico o en papel de estaño o de aluminio, antes de parafinarlas.*

#### **6.4** Grupo C:

**6.4.1** Estas muestras se deben preservar y sellar en empaques como se indica en la Sección 6.3. Adicionalmente, se deberán proteger contra choques, vibraciones y extremo calor o frío.

**6.4.2** Las muestras transportadas directamente por el personal encargado del muestreo o del laboratorio en los asientos de un vehículo automotor, solamente necesitan ser colocadas en cajas de cartón o en empaques similares, dentro de los cuales las muestras selladas encajen ajustadamente, evitando golpes, vuelcos, caídas, etc.

**6.4.3** Para los demás métodos de transporte de las muestras, incluyendo buses, servicios de encomienda, camiones, barco, avión, etc., será necesario colocar las muestras selladas en cajas de madera, de metal o de otro tipo adecuado, que proporcionen suspensión o aislamiento. Se debe evitar el envío de muestras a través de agencias cuyo manejo de recipientes resulte poco confiable.

**6.4.4** El material de suspensión (aserrín, caucho, polietileno, espuma de uretano u otro material de resiliencia similar) deberá cubrir completamente cada muestra. La amortiguación entre las muestras y las paredes de las cajas deberán tener un espesor mínimo de 25 mm (1"). Se deberá proporcionar un espesor mínimo de 50 mm (2") sobre el piso del recipiente.

**6.4.5** Cuando sea necesario, las muestras se deberán remitir en la misma posición en la que fueron tomadas. Por otra parte, se pueden requerir condiciones especiales, tales como congelación, drenaje controlado o confinamiento suficiente, o una combinación de éstas, para mantener la integridad de las muestras.

**6.5** *Grupo D:*

**6.5.1** Se deberán cumplir los requerimientos del Grupo C, más los siguientes:

**6.5.1.1** Las muestras se deberán manejar manteniendo la misma orientación con que fueron muestreadas, inclusive durante el transporte, mediante marcas adecuadas sobre la caja de embarque.

**6.5.1.2** Para todos los medios de transporte privado o comercial, el cargue, transporte y descargue de las cajas, deberán ser supervisados, en cuanto sea posibles por una persona calificada (ingeniero de suelos, inspector, laboratorista o persona designada por el director de proyecto).

**6.6** *Cajas para empaque* – Véanse las Figuras 103 - 1 a 103 - 6 para cajas típicas.

**6.6.1** Se deben incluir las siguientes características en el diseño de la caja de empaque para los grupos C y D:

**6.6.1.1** Debe ser reutilizable.

**6.6.1.2** Debe estar construida en tal forma que la muestra se pueda conservar, en todo momento, en la misma posición que cuando se hizo el muestreo y/o el empaque.

**6.6.1.3** Deberá incluir suficiente material de empaque para amortiguar y/o aislar los tubos de los efectos adversos de vibración y choque.

**6.6.1.4** Deberá incluir suficiente material aislante como protección contra cambios excesivos de temperatura.

**6.6.2** *Cajas de madera:*

- 6.6.2.1** Es preferible la madera al metal. Se puede emplear lámina exterior que tenga un espesor de 13 a 19 mm ( $\frac{1}{2}$ " a  $\frac{3}{4}$ "). La tapa deberá ir abisagrada y cerrada con aldaba, y asegurada con tornillos.
- 6.6.2.2** Los requerimientos de amortiguación se dan en el numeral 6.4.4.
- 6.6.2.3** Para protección contra variaciones excesivas de temperatura, toda la caja deberá forrarse con un aislamiento de espesor mínimo de 50 mm (2").
- 6.6.3** *Cajas metálicas para embarque* – Las cajas metálicas para embarque deberán tener incorporado material de amortiguación y aislante. Alternativamente, el efecto de amortiguación se podrá lograr con un sistema de suspensión de resorte o mediante cualquier otro medio que proporcione protección similar.
- 6.6.4** *Cajas de icopor (poliestireno expandido) para embarque* – Caja de icopor con ranuras cortadas a la dimensión del tubo de muestra. Se recomienda una caja externa de protección de madera laminada o de cartón reforzado.
- 6.6.5** *Otros recipientes* – También se pueden emplear cajas construidas con material de fibra de plástico o cartón reforzado.

## 7 INFORME

---

- 7.1** Los datos obtenidos en el campo se deberán registrar, incluyendo la siguiente información:
- 7.1.1** Nombre o número de la obra, o ambos.
- 7.1.2** Fecha (s) del muestreo.
- 7.1.3** Número y localización del sondeo y de la muestra.
- 7.1.4** Profundidad (es) o elevación (es), o ambos.
- 7.1.5** Orientación de la muestra.

- 7.1.6** Posición del nivel freático, si lo hubiera.
- 7.1.7** Método de muestreo y datos del ensayo de penetración, si fueren aplicables.
- 7.1.8** Dimensiones de la muestra.
- 7.1.9** Descripción del suelo (basado en la identificación visual de los suelos).
- 7.1.10** Nombres del inspector/cuadrilla, ingeniero de suelos, jefe del proyecto, etc.
- 7.1.11** Comentarios respecto de posibles contaminaciones de la muestra.
- 7.1.12** Copia del registro de identificación de muestras, si se requiere.
- 7.1.13** Condiciones climáticas.
- 7.1.14** Observaciones generales.

## **8 PRECISIÓN Y SESGO**

---

- 8.1** Esta norma únicamente proporciona información general y cualitativa, razón por la cual no es aplicable una proposición general sobre precisión y sesgo.

## **9 NORMAS DE REFERENCIA**

---

ASTM D4220 – 95 (Reaprobada en 2007)

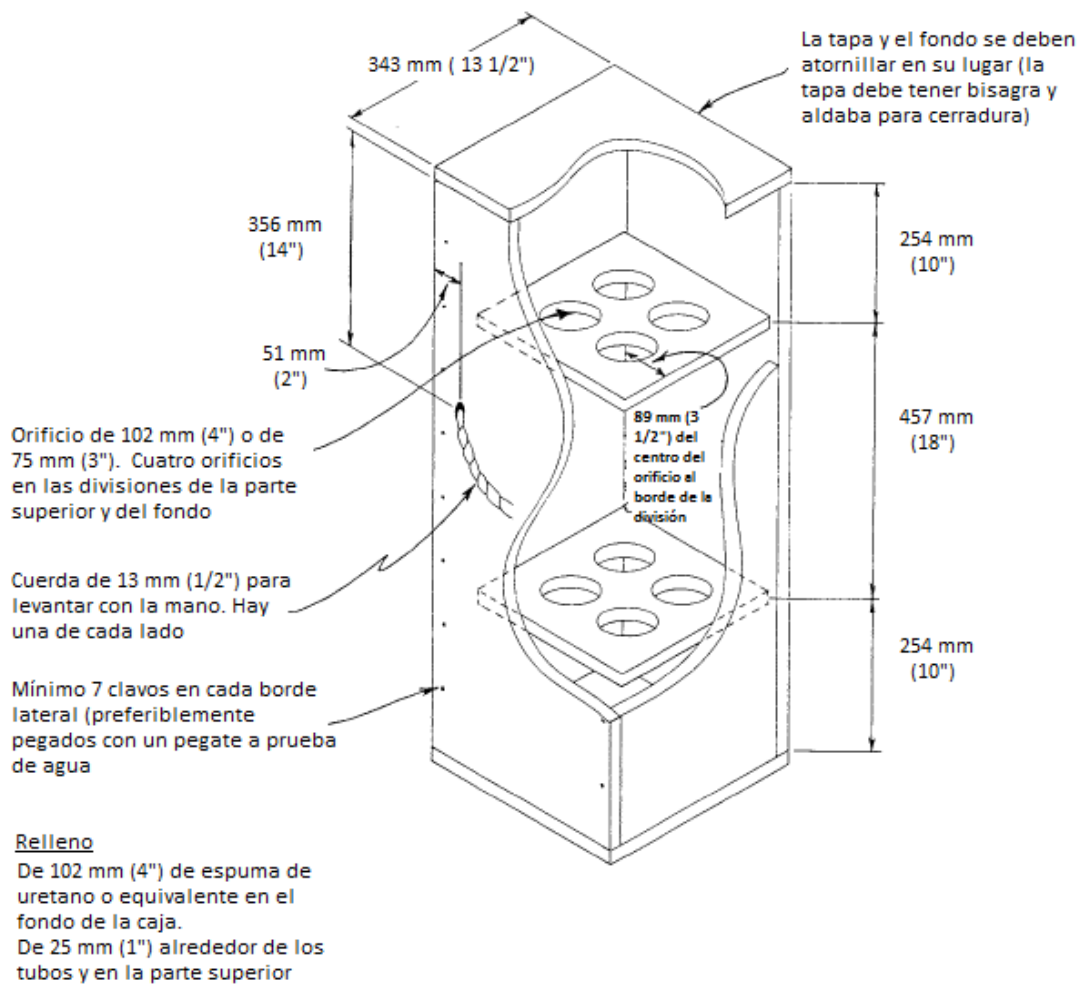


Figura 103 - 1. Caja para el transporte de tubos de pared delgada



(a) fotografía de la caja abierta para tubos de 127 mm (5")

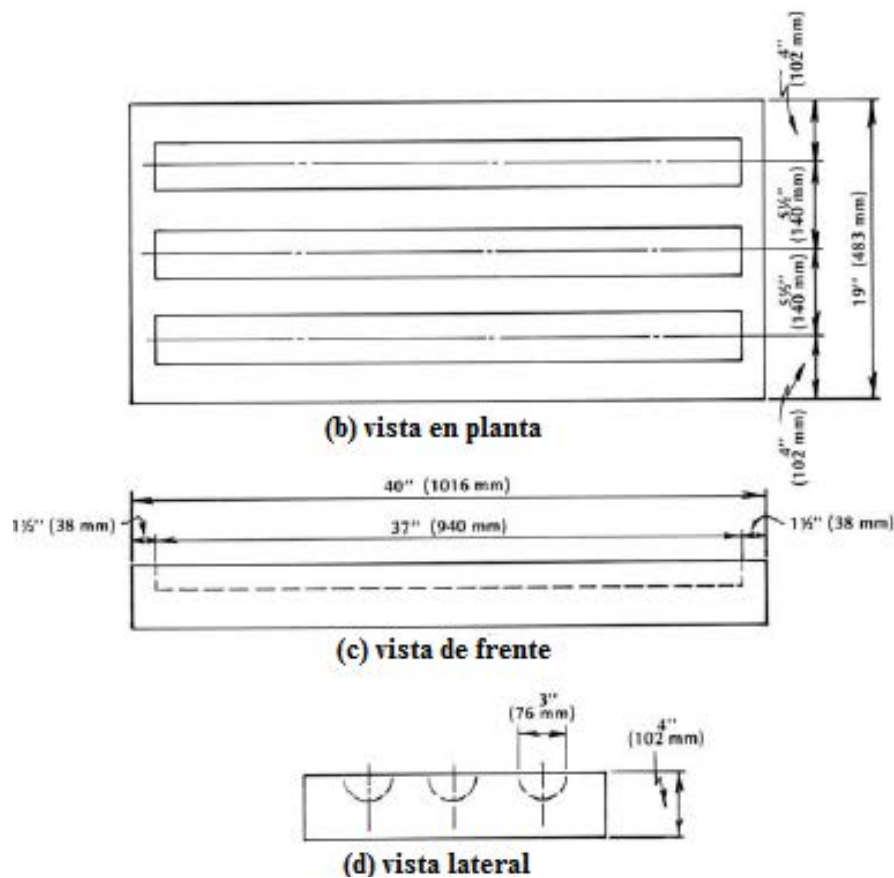
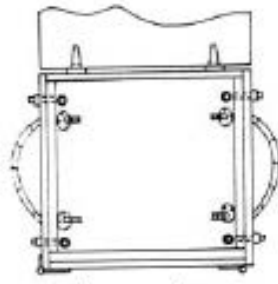
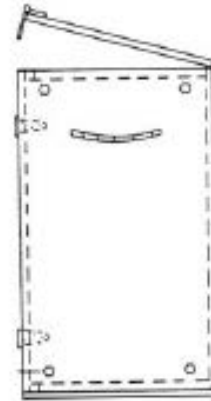


Figura 103 - 2. Caja de icopor para tubos de pared delgada de 76 mm (3")

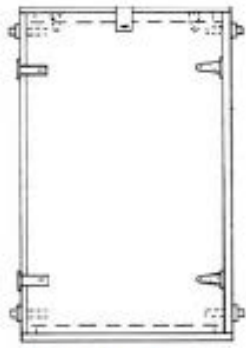




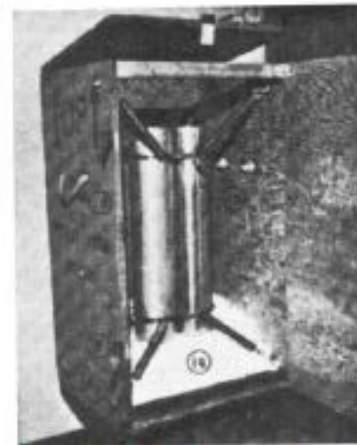
**vista en planta  
(caja abierta)**



**vista lateral**

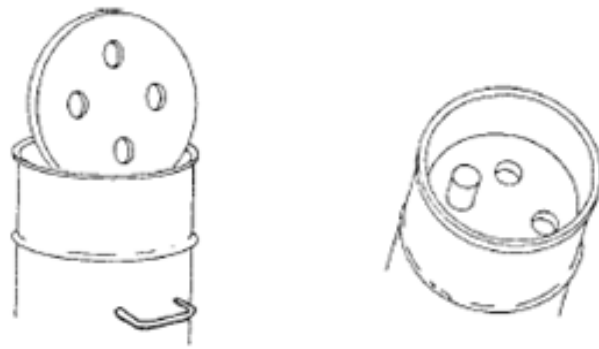


**vista de frente**



**fotografía de la caja abierta**

Figura 103 - 3. Recipiente con sistema de suspensión para tubos de pared delgada



(a) Caneca de  $0.21 \text{ m}^3$  (55 galones) con secciones aisladas de espuma de caucho y manijas soldadas lateralmente



(b) Caneca lista para el embarque: tapa de acero atomillada para cierre hermético

Figura 103 - 4. Canecas para transportar tubos de pared delgada

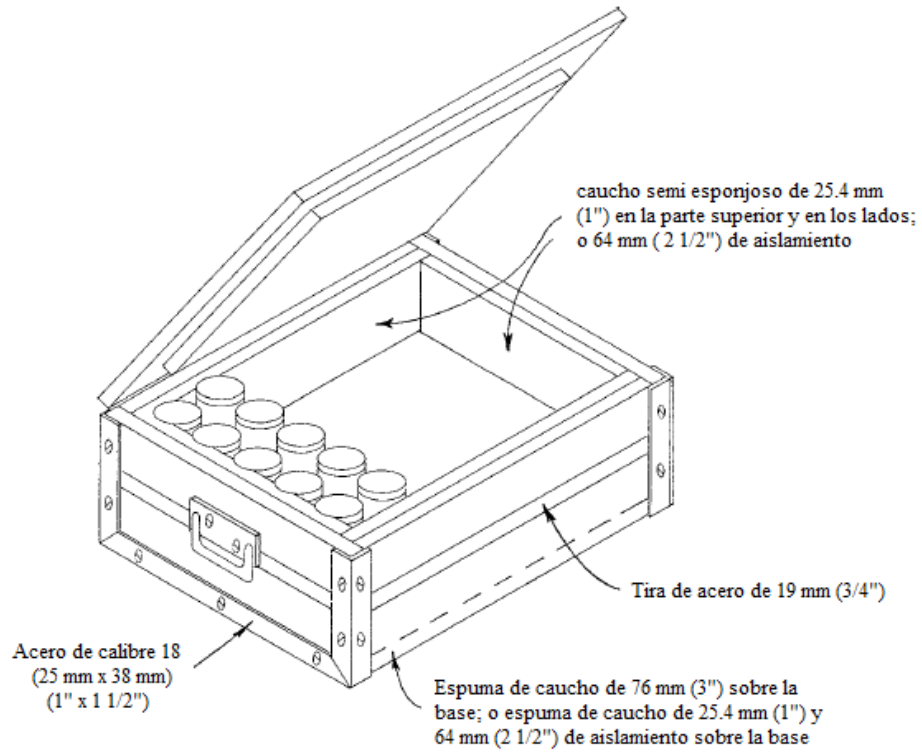


Figura 103 - 5. Caja para transportar tubos cortos

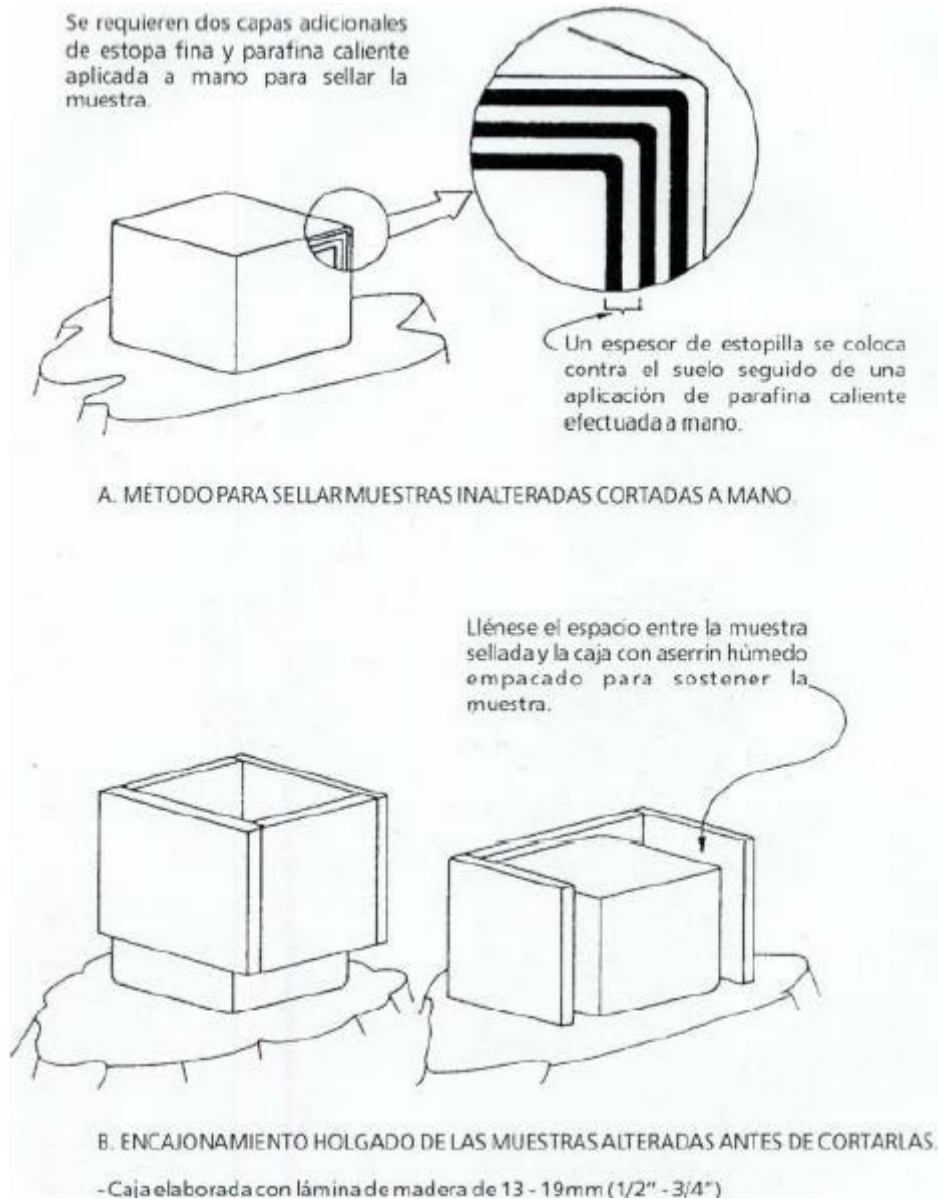


Figura 103 - 6. Preparación y empaque de una muestra en bloque

## TOMA DE MUESTRAS INALTERADAS DE SUELO EN SUPERFICIE

INV E – 104 – 13

### 1 OBJETO

---

- 1.1** Esta norma describe la forma de obtener muestras de suelos cohesivos que conserven su estructura y su humedad naturales, cuando se pueden tomar en superficie o a una profundidad a la cual se pueda llegar abriendo una calicata o una pequeña galería.

### 2 EQUIPO Y MATERIALES

---

- 2.1** *Herramientas* – Para tallar la muestra, que resulten adecuadas al terreno en el cual se va a tomar la muestra. Incluyen cilindros tomamuestras de filo cortante, palas, cuchillos, martillo, cincel, sierra de alambre, etc.
- 2.2** *Parafina*.
- 2.3** *Recipiente y reverbero* – Para calentar la parafina.
- 2.4** *Vendas de gasa o equivalentes y brocha* – Para aplicar la parafina.
- 2.5** *Caja para embalaje* – De madera y con dimensiones algo mayores que la muestra que se pretende obtener.

### 3 PROCEDIMIENTO

---

- 3.1** *Muestra en bloque tallada en superficie o en el fondo de una calicata*
- 3.1.1** Se descubre la capa de la cual se pretende tomar la muestra, bajando la excavación la profundidad precisa para que el terreno descubierto esté completamente fresco y no haya perdido humedad. Se alisa la superficie, marcando el contorno de lo que será la cara superior de la muestra, el cual dependerá del volumen de muestra que se pretenda extraer.

- 3.1.2** Se excava una pequeña zanja alrededor de la marca, de ancho suficiente para que permita al operario el trabajo de tallado, parafinado y recuperación de la muestra.
- 3.1.3** Con las herramientas apropiadas de acuerdo con la naturaleza de la muestra, se procede a darle a la muestra una forma aproximadamente cúbica, tallando primero la cara superior y luego las cuatro caras laterales, quedando la muestra en la condición que muestra la Figura 104 - 1.
- 3.1.4** Si la muestra tiene bastante consistencia, se corta por el fondo con los cuchillos, se le da la vuelta y se talla la cara inferior, procediendo a parafinarla de la siguiente manera: se aplica una primera capa de parafina y, a continuación, una capa de vendas y la segunda capa de parafina; se aplican sucesivamente nuevas capas de vendas y parafina hasta lograr un recubrimiento suficientemente sólido e impermeable, del orden de 3 mm de espesor. Las vendas sirven de protección a la muestra y de armadura a la parafina, con lo que evita su descascaramiento y agrietamiento.

*Nota 1: Para poder aplicar la parafina, previamente se debe fundir con ayuda del reverbero.*

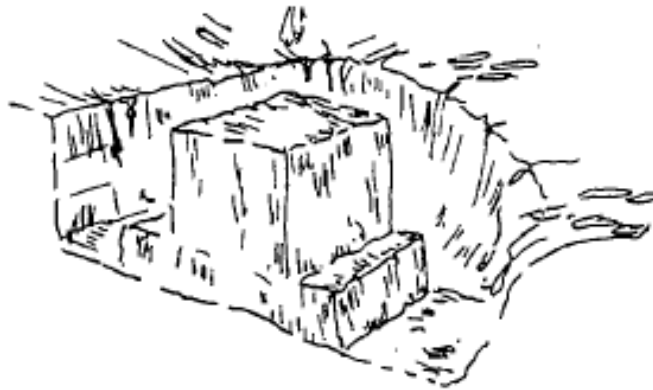


Figura 104 - 1. Condición de la muestra luego de tallar la cara superior y las caras laterales

- 3.1.5** Si la muestra no tiene suficiente consistencia, una vez talladas la cara superior y las laterales, y antes de desprenderla del terreno por su parte inferior, se parafinan las caras talladas como se describió en el numeral 3.1.4 y, a continuación, se sujeta la muestra con la caja de embalaje como se muestra en la Figura 104 - 2 y, después de desprenderla por su parte inferior, se le da la vuelta con ayuda de la caja y se talla y parafina la cara inferior en la forma anteriormente indicada.

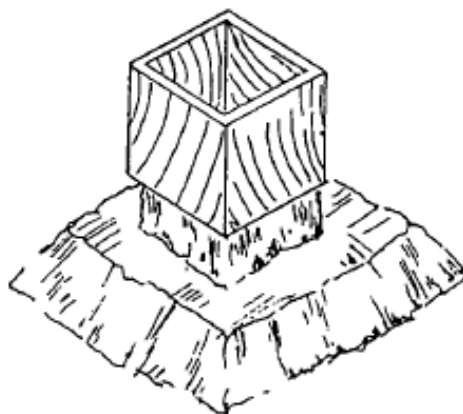


Figura 104 - 2. Toma de una muestra de baja consistencia con ayuda de la caja de embalaje

- 3.1.6** Si se teme una pérdida apreciable de humedad durante las operaciones de tallado porque los rayos del sol caen directamente sobre la muestra o porque el clima es cálido y seco, es conveniente aplicar la primera capa de parafina a cada cara inmediatamente después de que ella ha sido tallada, terminando las operaciones de parafinado después de desprender la muestra por la parte inferior o, si la muestra no tiene la suficiente consistencia, procediendo como se indicó en el numeral 3.1.5.
- 3.1.7** El embalaje de la muestra dentro de la caja de madera se debe realizar de forma que quede perfectamente sujeta y no se mueva dentro de ella durante su transporte, para lo cual se verterá parafina fundida entre la muestra y la pared de la caja si el espacio no es muy grande. En caso de que el volumen por rellenar sea muy amplio, se puede utilizar aserrín, papel periódico, plástico de burbujas, etc., todo ello debidamente colocado para que la muestra no se mueva dentro de la caja.
- 3.1.8** Antes de cerrar la caja, se debe etiquetar el bloque con todos los datos necesarios para su correcta identificación (proyecto, abscisa, profundidad, etc.) y orientación (indicar cuál es la cara superior y cuál la inferior). Luego se cierra la caja y se etiqueta exteriormente con los mismos datos. Se coloca, además, en un sitio bien visible, otra etiqueta de color vivo, que diga que la caja no debe ser golpeada.

*Nota 2: Además de las instrucciones que se presentan en esta norma en relación con la conservación y el transporte de las muestras de suelo, se deberá atender todo lo que resulte aplicable de la norma INV E-103.*

### 3.2 Muestra tomada en la pared de una calicata o galería

- 3.2.1** Se rebaja la pared escogida hasta que el terreno descubierto conserve su estructura y propiedades. Luego se efectúa un primer tallado hasta dejar el bloque como lo muestra la Figura 104 - 3. Como la cara posterior de la muestra es muy difícil de tallar antes de desprenderla por su parte inferior, hay que hacerlo una vez desprendido el bloque. El resto de las operaciones se realiza como en el caso de las muestras de fondo.

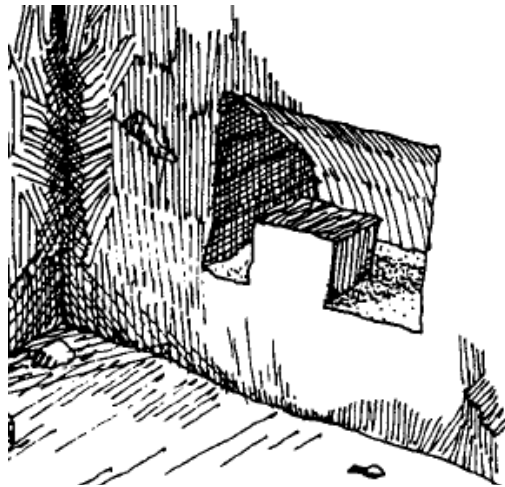


Figura 104 - 3. Toma de una muestra en la pared de una calicata

### 3.3 Muestra tomada con un cilindro de filo cortante

- 3.3.1** La hinca del cilindro se puede hacer a presión o dando golpes suaves con una maza de madera sobre un durmiente del mismo material. En todo caso, los esfuerzos deben ser centrados para evitar que el cilindro cabecee, lo cual podría alterar la muestra.
- 3.3.2** A medida que el cilindro se va introduciendo, se ayuda excavando y retirando el suelo que queda por su parte exterior, para evitar rozamientos inútiles (Figura 104 - 4). En algunos casos, puede ser conveniente llevar la excavación un poco por delante del filo del cilindro, para que éste penetre con mayor facilidad. Este procedimiento se debe utilizar solo cuando la muestra sea apropiada, pues en muchos casos existe el peligro de su agrietamiento.
- 3.3.3** Durante la hinca del cilindro se debe vigilar que éste no se golpee estando completamente lleno, para evitar la compactación del suelo



que ha de constituir la muestra. Si ello ocurre, la muestra se deberá descartar y se tomará otra en un sitio próximo.

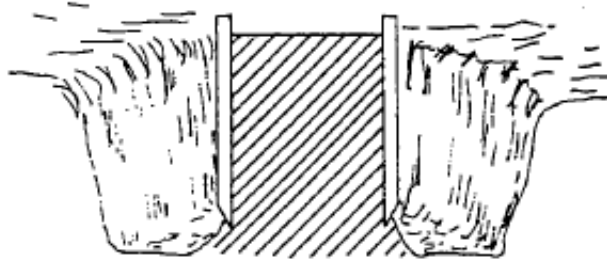


Figura 104 - 4. Toma de una muestra con un cilindro de filo cortante

- 3.3.4** Cuando el cilindro se llene, se corta por la parte inferior, se enrasa esta cara y se parafinan ambas caras de la misma forma descrita en el numeral 3.1.
- 3.3.5** Se colocan al cilindro las mismas etiquetas de identificación mencionadas para el caso de los bloques y luego se embala en una caja de madera, rellenando el espacio libre con un material apropiado para amortiguar los golpes.

## 4 NORMAS DE REFERENCIA

---

NLT-203/72

**Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente**

# OBTENCIÓN DE MUESTRAS DE SUELO MEDIANTE TUBOS DE PARED DELGADA

INV E – 105 – 13

## 1 OBJETO

---

- 1.1** Esta norma presenta un procedimiento para el uso de un tubo metálico de pared delgada para la obtención de muestras relativamente inalteradas de suelos, apropiadas para realizar sobre ellas pruebas de laboratorio destinadas a establecer las propiedades empleadas en los estudios y diseños de ingeniería, tales como resistencia, compresibilidad, permeabilidad y densidad. Los tubos de pared delgada usados en tomamuestras de tipo pistón, tapón o rotatorio, deben presentar las características descritas en el numeral 5.4 de esta norma.

*Nota 1: Este método no es aplicable a las camisas usadas dentro de los tomamuestras usados con el equipo.*

- 1.2** El método descrito en esta norma se limita a suelos que puedan ser penetrados por el tubo de pared delgada. No se recomienda para el muestreo de suelos que contengan grava, partículas cementadas de gran tamaño o suelos muy duros. En casos como estos, se pueden emplear otros métodos, tales como los descritos en la normas INV E-111 o INV E-109.
- 1.3** Esta norma reemplaza la norma INV E-105-07.

## 2 DEFINICIONES

---

- 2.1** Las siguientes definiciones se aplican de manera específica a esta norma:

- 2.1.1** *Relación de luz interior, %* – Diferencia entre el diámetro interior del tubo,  $D_i$ , y el diámetro interior del borde cortante,  $D_e$ , dividida por el diámetro interior del tubo,  $D_i$ , expresada en porcentaje (Ver Figura 105-1).
- 2.1.2** *Ovalidad* – Es la sección transversal de un tubo que se aparta de la forma circular perfecta.

### 3 RESUMEN DEL MÉTODO

---

- 3.1** Se obtiene una muestra relativamente inalterada al presionar un tubo de pared delgada dentro del suelo in-situ en el fondo de una perforación, removiendo posteriormente el tubo lleno de suelo, y sellando las superficies del suelo para prevenir movimientos de la muestra y cambios en su humedad.

### 4 IMPORTANCIA Y USO

---

- 4.1** El método descrito en esta norma se emplea cuando es necesario obtener muestras relativamente intactas, adecuadas para la determinación de sus propiedades de ingeniería mediante ensayos de laboratorio u otras pruebas cuyos resultados se puedan ver afectados por la alteración del suelo.

*Nota 2: La calidad de los resultados obtenidos al emplear esta norma, depende de la competencia del personal que la aplica y de la aptitud del equipo y demás elementos utilizados.*

### 5 EQUIPO Y MATERIALES

---

- 5.1** *Equipo de perforación* – Se puede usar cualquier equipo de perforación que proporcione un orificio razonablemente limpio; que minimice la alteración del suelo a ser muestreado; y que no impida la penetración del tomamuestras de pared delgada. El diámetro del orificio perforado y el diámetro interior de la tubería ya insertada o el del vástago hueco del taladro no deben exceder 3.5 veces el diámetro exterior del tubo de pared delgada.
- 5.2** *Equipo de inserción del tomamuestras* – Este equipo debe ser adecuado para proveer la fuerza de penetración de una manera relativamente rápida y continua. Para formaciones duras puede ser necesario, aunque no recomendable, hincar el tubo tomamuestras de pared delgada.
- 5.3** *Cabeza de acople del tomamuestras* – Esta cabeza sirve para acoplar el tubo de pared delgada al equipo de inserción, conformando ambos el conjunto para la toma de muestras. La cabeza del tomamuestras debe tener una válvula de escape (cheque) apropiada y un área de ventilación hacia el exterior, igual o mayor al área utilizada para la válvula de escape. En algunos casos especiales, puede que no se requiera la válvula de escape, pero la ventilación es siempre necesaria para evitar la compresión de la muestra. La fijación de la cabeza al tubo debe ser concéntrica y coaxial, para asegurar que el equipo de inserción del tomamuestras aplica fuerza al tubo de manera uniforme.

**5.4** *Tubos de pared delgada* – Estos tubos deben ser manufacturados con las dimensiones que se muestran en la Figura 105 - 1. Deben tener un diámetro exterior de 50.8 a 127.0 mm (2 a 5”) y ser de un metal lo suficientemente resistente para su uso en los suelos y formaciones por muestrear. Los tubos deben estar limpios y libres de cualquier irregularidad en su superficie, incluyendo protuberancias en las soldaduras. Se pueden usar otros diámetros, pero las dimensiones del tubo deben ser proporcionales al diseño del tubo presentado en esta norma.

**5.4.1** *Longitud de los tubos* – Ver Tabla 105 - 1 y numeral 6.4.1.

**5.4.2** *Tolerancias* – Se deben encontrar dentro de los límites especificados en la Tabla 105 - 2.

**5.4.3** *Relación de luz interior* – Esta relación no debe ser mayor de 1%, a menos que se especifique otra cosa para el tipo de suelo por muestrear. Generalmente, la relación de luz interior por usar se debe aumentar con el incremento en la plasticidad del suelo a muestrear, excepto en suelos sensitivos o donde la experiencia local indique lo contrario. El numeral 2.1.1 y la Figura 105 - 1 aclaran el concepto de la relación de luz interior.

**5.4.4** *Protección anticorrosiva* – La corrosión, ya sea producida por reacción galvánica o por reacción química, puede dañar o destruir tanto el tubo de pared delgada como la muestra. La severidad del daño depende del tiempo transcurrido y de la interacción entre la muestra y el tubo. Los tubos de pared delgada deben tener alguna forma de recubrimiento de protección, a menos que la muestra vaya a ser extraída dentro de los tres días siguientes. La clase de recubrimiento por usar puede variar, dependiendo del material por muestrear. A menudo, se emplean tubos galvanizados cuando se requiere un almacenamiento prolongado. El recubrimiento puede incluir un baño ligero de aceite lubricante, laca, epoxy, teflón, óxido de zinc u otros productos.

*Nota 3: La mayoría de los productos de recubrimiento no resisten el frotamiento que producen los suelos que contienen arena. Así mismo, se debe considerar el rápido ensayo de la muestra, ya que se pueden presentar reacciones químicas entre el metal y la muestra de suelo.*

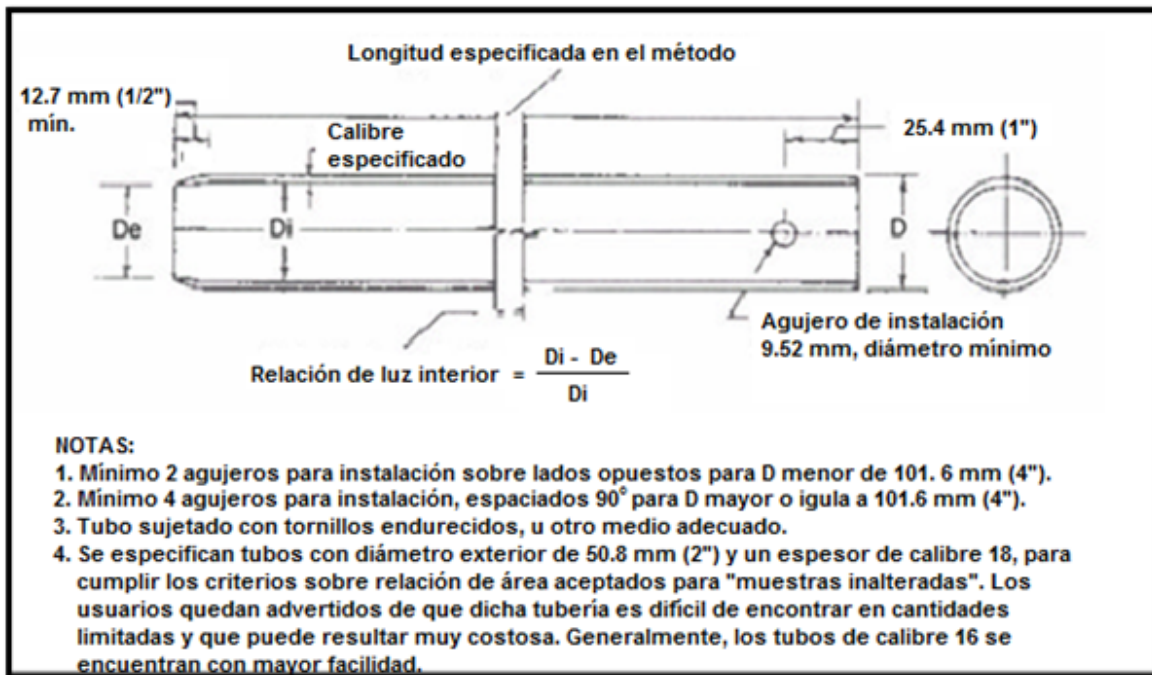


Figura 105 - 1. Tubo de pared delgada para muestras

Tabla 105 - 1. Tubos de acero de pared delgada de tamaños apropiados para muestreo

<b>Diámetro exterior (D):</b>			
mm	50.8	76.2	127
pulgadas	2	3	5
<b>Espesor de la pared:</b>			
Bwg	18	16	11
mm	1.24	1.65	3.05
pulgadas	0.049	0.065	0.120
<b>Longitud del tubo</b>			
m	0.91	0.91	1.41
pulgadas	36	36	54
<b>Relación de luz interior, %</b>			
	< 1	< 1	< 1

*Nota 4: Los tres diámetros recomendados en la Tabla 105 - 1 se presentan con fines de normalización, y no intentan indicar que los tubos muestreadores de diámetros intermedios o mayores no sean aceptables. Las longitudes de tubos que se muestran, son ilustrativas. Las longitudes apropiadas se deberán determinar según las condiciones del terreno.*

- 5.5 Parafina sellante** – La parafina que se vaya a emplear para sellar no deberá tener una contracción apreciable, ni permitir la evaporación de las muestras; se preferirán las parafinas microcristalinas. Antes del sellado con parafina, y para proporcionar un mejor cierre de ambos extremos del tubo, se

recomienda usar discos delgados de acero o de cobre amarillo que tengan un diámetro ligeramente menor que el interior del tubo.

- 5.6** *Materiales accesorios* – Estopilla de algodón y cinta impermeabilizada o parafinada, rótulos, hojas de datos, contenedor de embarque y otros elementos menores necesarios.

Tabla 105 - 2. Tolerancias en las dimensiones para tubos de pared delgada

TOLERANCIAS PARA DIÁMETROS NOMINALES DE TUBO DE LA TABLA 1 <sup>(*)</sup>						
TAMAÑO DIÁMETRO EXTERIOR	50.8 mm	2"	76.2 mm	3"	127 mm	5"
DIÁMETRO EXTERIOR (D)	+0.179 -0.000	+0.007 -0.000	+0.254 -0.000	+0.010 -0.000	+0.381 -0.000	+0.015 -0.000
DIÁMETRO INTERIOR (D <sub>i</sub> )	+0.000 -0.179	+0.000 -0.007	+0.000 -0.254	+0.000 -0.010	+0.000 -0.381	+0.000 -0.015
ESPESOR DE PAREDES	±0.179	±0.007	±0.254	±0.010	±0.381	±0.015
OVALIDAD	0.381	0.015	0.508	0.020	0.762	0.030
RECTITUD	2.50/m	0.030/pie	2.50/m	0.030/pie	2.50/m	0.030/pie

<sup>(\*)</sup> Diámetros intermedios o mayores deben ser proporcionales. Las tolerancias mostradas son las normalmente usadas en la manufactura comercial para entubados mecánicos sin uniones. Se deben especificar solamente dos de las primeras tres tolerancias, es decir: D y D<sub>i</sub>; o D y espesor de paredes; o D<sub>i</sub> y espesor de paredes.

## 6 PROCEDIMIENTO

- 6.1** Se avanza la perforación hasta la profundidad de muestreo. Se retira el material suelto que esté dentro del revestimiento o de la tubería de vástago hueco, tan cuidadosamente como sea posible, para no perturbar el material que va a ser muestreado. Si se encuentran aguas freáticas, se debe mantener el líquido en el orificio al mismo nivel o a un nivel superior durante la operación de perforación y muestreo.
- 6.2** No se permite el uso de brocas de descarga por el fondo. Se pueden usar brocas de descarga lateral con cautela. No se permite la inyección de agua a

presión a través de un muestreador de tubo abierto para limpiar el orificio hasta la profundidad del muestreo.

*Nota 5: Se consiguen brocas de rodillos en configuraciones de inyección descendente o inyección difusa. No se aceptan brocas de inyección descendente. Las configuraciones de inyección difusa son, por lo general, aceptables.*

**6.3** Se coloca el tubo de muestreo de manera que su extremo descansa en el fondo del orificio. Se registra la profundidad hasta el fondo del tubo muestreador, redondeada a 0.03 m (0.1 pie).

**6.3.1** El tubo de muestreo se debe mantener en posición vertical durante su descenso, previniendo así que su borde cortante raspe la pared del orificio.

**6.4** Se inserta el tomamuestras mediante un movimiento continuo y relativamente rápido, sin rotación, y se registra la longitud de avance con aproximación a 25 mm (1”).

**6.4.1** Se fija la longitud de avance dependiendo de la resistencia y de las condiciones del terreno, pero la longitud nunca debe pasar de 5 a 10 diámetros del tubo en arenas o de 10 a 15 diámetros del tubo en arcillas. En ningún caso, la longitud penetrada puede ser mayor que la longitud del tubo muestreador menos un margen para la cabeza del muestreador y un mínimo de 76.2 mm (3”) para cortes y desperdicios.

*Nota 6: El tamaño de la muestra, la capacidad de manejo del laboratorio, los problemas de transporte y la disponibilidad comercial de los tubos, generalmente limitan las longitudes prácticas máximas a aquellas mostradas en la Tabla 105 - 1.*

**6.5** Cuando el suelo es demasiado duro para usar el muestreador de empuje, se puede usar un martillo para hincarlo, o emplear la norma INV E-109. Si se usan métodos de hincado por golpes, se deberá anotar el peso y la altura del martillo y la profundidad de penetración alcanzada. Además, se debe marcar el tubo, de manera bien visible, con una etiqueta que diga: “muestreador hincado a golpes”.

**6.6** Se retira el muestreador tan cuidadosamente como sea posible, con el fin de minimizar la alteración de la muestra. El tubo se puede rotar lentamente para separar la muestra del fondo y/o aliviar la presión o la succión del agua, así como para mejorar la recuperación de la muestra. Donde haya suelos blandos, el retardo en la extracción del tubo muestreador (generalmente de 5 a 30 minutos), puede mejorar la recuperación de la muestra.



## 7 PREPARACIÓN PARA DESPACHO

---

- 7.1** Una vez extraído el muestreador, se remueven los residuos que hayan quedado en el extremo superior del tubo, se mide la longitud de la muestra de suelo recuperada dentro del tubo, con una aproximación de 6 mm (1/4") y se sella la parte superior del tubo. A continuación, se remueve el material alterado del extremo inferior del tubo, el cual se emplea para describir el suelo de acuerdo con la norma INV E-102. Se mide nuevamente la longitud de la muestra y se sella la parte inferior del tubo. Alternativamente, luego de medir la longitud de la muestra, el tubo se puede sellar sin remover el suelo de sus extremos. Cualquiera sea el caso, la parafina se debe aplicar en forma tal, que se evite su penetración en la muestra.
- 7.1.1** Al contrario de lo que ocurre con los tubos sellados con empaques expansibles, a los tubos sellados con parafina en los extremos se les deben insertar sendos discos impermeabilizantes antes de sellarlos, para garantizar un confinamiento adecuado. Los materiales de empaque no deben ser absorbentes y deben conservar sus propiedades, de manera de garantizar el mismo grado de soporte a la muestra durante el transcurso del tiempo.
- 7.1.2** Dependiendo de las exigencias de la investigación, pueden resultar aceptables la extracción y el empaque de las muestras en el terreno. Esto permite el análisis físico y la clasificación visual de la muestra. Las muestras se deben extraer de los tubos con gatos hidráulicos equipados con platinas de tamaño adecuado para sacarlas de manera suave y continua. En algunos casos, la extracción ulterior puede causar alguna alteración en la muestra, reduciendo su conveniencia para ser ensayada con fines de diseño de ingeniería. En otros casos, si el deterioro no es significativo, se pueden cortar núcleos de la muestra, conservándolos para los ensayos, como se indica en la norma INV E-103. Los tubos pandeados o dañados deberán ser cortados antes de extraer las muestras de ellos.
- 7.2** Se deben adherir rótulos a los tubos, con la identificación del trabajo, la localización de la perforación, el diámetro y el número de la muestra, la profundidad, la penetración y la longitud recuperada. En un formato adicional se deberá hacer, igualmente, una relación del equipo y del método que se utilizaron, así como una descripción cuidadosa del suelo, anotando su composición, estructura, consistencia, color y grado de humedad. Se deberán rotular por duplicado los números del tubo y del sondeo.

*Nota 7: Cuando se vayan a transportar los tubos, sus extremos se deberán proteger para prevenir la rotura de los sellos. Es aconsejable colocar estopilla de algodón alrededor de los extremos después del sellado y sumergirlos varias veces en la parafina fundida.*

*Nota 8: Los tubos se deberán almacenar siempre a la sombra en un lugar fresco. Las muestras para embarque se deben empacar adecuadamente, para reducir el efecto de choques, vibraciones y alteraciones.*

## 8 INFORME

---

- 8.1** Los datos obtenidos en los sondeos se deberán anotar en el campo e incluirán lo siguiente:
- 8.1.1** Nombre y localización de la obra.
  - 8.1.2** Fechas del comienzo y terminación del sondeo.
  - 8.1.3** Número y coordenadas del sondeo, si se dispone de ellas.
  - 8.1.4** Elevación (cota) de la superficie, con aproximación de 0.3 m o superior, si se dispone de ella.
  - 8.1.5** Número y profundidad de la muestra.
  - 8.1.6** Método de avance del muestreador, longitudes de penetración y de recuperación.
  - 8.1.7** Tipo y tamaño del muestreador.
  - 8.1.8** Descripción del suelo de acuerdo con la norma INV E-102.
  - 8.1.9** Espesor de la capa o estrato de suelo.
  - 8.1.10** Profundidad del nivel de aguas freáticas (NAF); de pérdida de agua; de cabeza artesisiana; y la hora en que fue hecha la lectura.
  - 8.1.11** Tipo y marca del equipo de perforación.
  - 8.1.12** Tamaño del revestimiento, profundidad de la perforación.
  - 8.1.13** Nombres del personal (Ingeniero, geólogo, inspector, operario y ayudantes).

## **9 NORMAS DE REFERENCIA**

---

ASTM D 1587-08

**Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente**

# PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE SUELO POR VÍA SECA PARA ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Y DETERMINACIÓN DE LAS CONSTANTES FÍSICAS

INV E – 106 – 13

## 1 OBJETO

---

- 1.1 Esta norma describe la preparación en seco de muestras de suelo, tal como son recibidas del terreno, para el análisis granulométrico y la determinación de sus constantes físicas.
- 1.2 Esta norma reemplaza la norma INV E–106–07.

## 2 IMPORTANCIA Y USO

---

- 2.1 El procedimiento descrito en esta norma se puede emplear para preparar muestras de suelo destinadas a la determinación de la granulometría y los límites de consistencia, cuando se desean obtener los valores de ensayo a partir de muestras secadas al aire, o donde se sepa que el secado al aire no incide sobre los resultados de los ensayos, al compararlos con los obtenidos al ensayar muestras preparadas de acuerdo con la norma INV E–107.

## 3 EQUIPO

---

- 3.1 *Balanzas* – Se debe disponer de balanzas que tengan una precisión de 0.1 g.
- 3.2 *Equipo secador* – Cualquier aparato apropiado para secar muestras a una temperatura que no exceda de 60° C (140° F).
- 3.3 *Tamices* – Tamices normalizados, de los siguientes tamaños: 4.75 mm (No. 4), 2.00 mm (No. 10) y 425 µm (No. 40).
- 3.4 *Aparato pulverizador* – Un mortero con su correspondiente maja revestida de caucho, apropiado para triturar terrones de suelo, sin reducir el tamaño de los granos individuales.

- 3.5 Cuarteador de muestras** – Cuarteador adecuado para una división proporcional de las muestras y permitir la obtención de porciones representativas de ellas, sin pérdida apreciable de finos. También se permite el cuarteo manual de la muestra sobre una lona.

## 4 MUESTREO

---

- 4.1** Las muestras de suelo, tal como se reciben del terreno, se deben secar completamente, ya sea al aire o en el horno, a una temperatura que no exceda de 60° C (140° F). Empleando el cuarteador o cuarteando las muestras manualmente, se obtiene una muestra representativa, del tamaño adecuado para llevar a cabo las pruebas deseadas. Las cantidades de material requeridas para los ensayos individuales, son las siguientes:
- 4.2 Análisis granulométrico (norma INV E-123)** – Para el análisis granulométrico, se requiere material que pase por el tamiz de 2.00 mm (No. 10), en una cantidad de 115 g para suelos arenosos y de 60 g para suelos limosos y arcillosos.
- 4.2.1 Determinación de las constantes físicas** – Para las pruebas destinadas a la determinación de las constantes físicas se requiere material que pase el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40), en una cantidad total de, por lo menos, 220 g, repartidos como sigue:

Ensayo	Gramos
Límite líquido	100
Límite plástico	15
Humedad centrífuga equivalente	10
Contracción volumétrica	30
Ensayos de verificación	65

## 5 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS DE ENSAYO

---

- 5.1** Se toma la parte de la muestra secada al aire que se eligió para los ensayos, se pesa y se registra su masa sin corregirla por el efecto de la humedad higroscópica. La muestra se debe separar en dos fracciones, usando un tamiz de 2.00 mm (No. 10). La fracción retenida en el tamiz se debe disgregar en el mortero, hasta que los terrones de suelo queden separados en granos individuales. A continuación, el suelo pulverizado se separa en dos fracciones, usando el tamiz de 2.00 mm (No. 10).

- 5.2** Se lava la fracción retenida en el tamiz de 2.00 mm (No. 10) tras el segundo tamizado, hasta liberarla de partículas finas adheridas. A continuación, se seca al aire o en el equipo secador y se pesa. Esta será la masa del material grueso. Seguidamente, este material se tamiza por el tamiz de 4.75 mm (No. 4) y se determina la masa retenida en él.

## **6 MUESTRAS PARA ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**

---

- 6.1** Se mezclan completamente las fracciones pasantes por el tamiz de 2.00 mm (No. 10) en las dos operaciones de tamizado descritas en la Sección 5 y, mediante cuarteo, se toma una porción de unos 115 g para suelos arenosos y 60 g para suelos limosos y arcillosos

## **7 MUESTRAS PARA DETERMINAR LAS CONSTANTES FÍSICAS DEL SUELO**

---

- 7.1** La porción sobrante del material que pasa por el tamiz de 2.00 mm (No. 10) se separa en dos partes, usando el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40). La porción retenida en el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40) se descarta y la que pasa por él se usa para la determinación de las constantes físicas del suelo.

## **8 NORMAS DE REFERENCIA**

---

ASTM D 421–85 (2007)

**Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente**



# PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE SUELO POR VÍA HÚMEDA PARA ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Y DETERMINACIÓN DE LAS CONSTANTES FÍSICAS

INV E – 107 – 13

## 1 OBJETO

---

- 1.1** Este procedimiento se aplica para la preparación de muestras de suelo tal como son recibidas del terreno, para el análisis granulométrico y para la determinación de sus constantes físicas.
- 1.2** El Método "A" se ha desarrollado para el secado de las muestras de campo a una temperatura que no exceda de 60° C (140° F), haciendo inicialmente una separación por vía húmeda, sobre el tamiz de 2.0 mm (No. 10) o el de 425  $\mu$ m (No. 40), o de ambos si así se requiere, secándola después a una temperatura que no supere 60° C (140° F). El método "B" estipula que la muestra se mantendrá con una humedad igual o mayor al contenido natural de agua. El procedimiento por emplear, se deberá indicar en la especificación del material que se va a ensayar. Si no se ha especificado ningún procedimiento, se aplican los requisitos del método "B".
- 1.3** Esta norma reemplaza la norma INV E-107-07.

## 2 IMPORTANCIA Y USO

---

- 2.1** El Método "A" se emplea para preparar muestras de suelos para ensayos de plasticidad y análisis granulométrico, cuando las partículas de grano grueso de la muestra son blandas y fácilmente pulverizables, o cuando las partículas finas son muy cohesivas y ofrecen resistencia a desprenderse de las partículas gruesas.
- 2.2** Algunos suelos nunca se secan en forma natural y pueden cambiar notoriamente sus características cuando son secados. En estos casos, si se desea conocer su gradación natural y las características de plasticidad, dichos suelos se deben enviar al laboratorio en recipientes sellados, para procesarlos de acuerdo con el Método "B" de esta norma.

- 2.3** Generalmente, pero no siempre, los valores del límite líquido y del índice de plasticidad obtenidos sobre muestras con su humedad natural, son iguales o algo mayores que los valores determinados sobre muestras semejantes de suelos secados. En el caso de los suelos orgánicos de grano fino, el proceso de secado en horno produce una caída sustancial en su plasticidad.

### 3 EQUIPO

---

- 3.1** *Balanza* – Con sensibilidad de 0.1 g.
- 3.2** *Mortero* – Con maja cubierta de caucho, u otro dispositivo adecuado, para disgregar grumos o terrones de partículas.
- 3.3** *Tamices* – De 2 mm (No. 10) y de 425  $\mu$ m (No. 40), de malla cuadrada.
- 3.4** *Cuartheador*
- 3.5** *Aparatos para secado* – Horno termostáticamente controlado para usar a 60° C (140° F) o menos y a 110° C (230° F); lámpara de rayos infrarrojos, secador de aire u otros aparatos capaces de secar muestras de suelos.
- 3.6** *Filtros* – Embudos Buchner de 254mm (10") de diámetro y papel de filtro, o filtros de vela.
- 3.7** *Equipo auxiliar* – Bandejas de 304.8 mm (12") de diámetro y 76.2 mm (3") de profundidad; recipiente adecuado para prevenir pérdidas de humedad durante el almacenamiento de la muestra húmeda preparada de acuerdo con el método B.

## MÉTODO A

### 4 MUESTREO

---

- 4.1** Se seca la muestra de suelo recibida del terreno, usando uno de los siguientes procedimientos: (1) al aire a la temperatura ambiente, (2) en horno a una temperatura que no exceda de 60° C (140° F), ó (3) utilizando otro aparato calentador que no eleve la temperatura de la muestra por encima de 60° C (140° F). Se fragmenta completamente cualquier grumo o aglomerado de partículas, usando el mortero con su maja u otro dispositivo adecuado (nota

1). Se escoge una muestra representativa por medio de cuarteo. El tamaño de la muestra cuarteada deberá ser suficiente para proveer la cantidad necesaria para realizar el análisis granulométrico del material retenido y pasante por el tamiz de 2 mm (No. 10) y para suministrar una cantidad adecuada de material que pasa el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40,) para los ensayos destinados a determinar las constantes físicas del suelo. Las cantidades de material requerido para los ensayos individuales son las siguientes:

*Análisis granulométrico del material retenido en el tamiz de 2.0 mm (No. 10):*

Suelos con gravas	4000 a 10.000 g
Suelos arenosos	1500 g
Suelos limosos o arcillosos	400 g

*Análisis granulométrico del material que pasa por el tamiz de 2.0 mm (No. 10):*

Suelos arenosos	115 g
Suelos limosos o arcillosos	65 g

*Ensayos para determinar constantes físicas del suelo:*

Límite líquido	100 g
Límite plástico	15 g
Humedad centrífuga equivalente	10 g
Factores de contracción	30 g
Ensayos de comprobación	65 g

*Nota 1: Cuando la muestra contenga partículas de lutitas blandas, areniscas u otro material débil, se debe tener mucho cuidado para evitar una excesiva reducción del tamaño de las partículas.*

## 5 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS DE ENSAYO

### 5.1 Para análisis granulométrico:

**5.1.1** Se pesa la porción de la muestra de ensayo seleccionada para el ensayo granulométrico y se anota este valor como "peso de la muestra total sin corrección por humedad higroscópica". Se separa este material en dos porciones, utilizando el tamiz de 2 mm (No. 10). Se deja a un lado la porción pasante, para combinarla más tarde con material adicional que resulte del lavado de la porción que se retuvo en ese tamiz.

**5.1.2** Se coloca en una bandeja el material retenido en el tamiz de 2 mm (No. 10); se cubre con agua y se deja remojar hasta que se ablanden los grumos. Después de que el material se ha empapado, se lava sobre el tamiz de 2 mm (No. 10) de la siguiente forma: Se coloca un tamiz desocupado de 2 mm (No. 10) sobre la base de una bandeja limpia y se

vierte el agua con la que se remojó la muestra sobre el tamiz. Se añade agua suficiente para que el nivel de la superficie quede, aproximadamente, 12.7 mm ( $\frac{1}{2}$ " ) por encima de la malla del tamiz. Se traslada el material remojado al tamiz, en porciones cuyo peso no exceda de 450 g (1 lb), revolviéndolo con los dedos mientras se agita el tamiz hacia arriba y hacia abajo. Se desintegra o tritura manualmente cualquier terrón que no se haya desleído. Se levanta el tamiz por encima del agua y se completa el lavado utilizando una pequeña cantidad de agua limpia. Se transfiere el material lavado a una bandeja limpia y se continúa el proceso con otra porción, hasta que se lave todo.

- 5.1.3** El material que quedó retenido sobre el tamiz de 2 mm (No. 10) se seca a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ \text{F}$ ). A continuación, se tamiza por el tamiz de 2 mm (No. 10), añadiendo al material que pasa este tamiz, el que se separó conforme a lo señalado en el numeral 5.1.1. Se deja a un lado el material retenido, para utilizarlo en el ensayo de análisis granulométrico.
- 5.1.4** Se aparta la bandeja con el agua con la cual se lavó el material y se deja reposar por varias horas o hasta que las partículas se depositen en el fondo de la bandeja y el agua sobre ellas sea de color claro. Se decanta o se retira con una pipeta o con un sifón, la mayor cantidad de agua clara que sea posible (nota 2). Se seca el suelo remanente en la bandeja a una temperatura que no supere  $60^\circ \text{C}$  ( $140^\circ \text{F}$ ). El suelo secado se pulveriza en el mortero u otro aparato apropiado, y se combina con el obtenido de acuerdo con lo descrito en el numeral 5.1.1.

*Nota 2: Si el agua no se aclara durante un lapso razonable, toda ella se debe evaporar.*

- 5.1.5** Alternativamente, después de que todo el material remojado ha sido lavado, se remueve la mayor cantidad del agua, filtrando el agua de lavado a través de uno más embudos Büchner equipados con papeles de filtro, o por medio de filtros de vela. Se remueve el suelo húmedo de los papeles de filtro o de los filtros de vela, se combina con los sedimentos sobrantes en la bandeja y se seca el conjunto a una temperatura que no pase de  $60^\circ \text{C}$  ( $140^\circ \text{F}$ ). Se pulveriza el suelo seco en el mortero y se combina con el material similar obtenido de acuerdo con lo descrito en el numeral 5.1.1.

- 5.2** *Para determinación de las constantes físicas del suelo* – En este caso, se debe proceder como se ha indicado en la sección 5.1, pero se utilizará el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40), en lugar del tamiz de 2 mm (No. 10).

*Nota 3: En algunas zonas, es posible que los cationes de las sales que tiene el agua potable se intercambien con los cationes naturales del suelo, alterando significativamente los valores de las constantes de los suelos cuando dicha agua se emplea para remojar y lavar las muestras. A menos que se tenga certeza de la inexistencia de esta clase de cationes en el agua potable, se deberá emplear para este ensayo agua destilada o desmineralizada. La operación de inmersión y lavado debería remover las sales solubles contenidas en el suelo. Cuando el suelo contenga sales solubles, el agua de lavado se debe recoger y evaporar, retornando las sales obtenidas a la muestra de suelo.*

## 6 MUESTRAS DE ENSAYO

---

- 6.1** Manteniendo separada cada porción de la otra, se mezclan totalmente todas las partes obtenidas del material que pasa el tamiz de 2 mm (No. 10) y del material que pasa el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40). Por cuarteo manual o mecánico, se escogen y pesan las muestras señaladas en la Sección 4, según sea necesario, para realizar los ensayos requeridos.

## MÉTODO B

## 7 MUESTRAS

---

- 7.1** Las muestras preparadas de acuerdo con este procedimiento, se deben enviar del terreno al laboratorio en recipientes sellados y deben contener toda su humedad natural. Las muestras que contengan de manera obvia solo partículas que pasan el tamiz de 2 mm (No. 10) pueden ser sometidas al análisis granulométrico sin un lavado previo sobre dicho tamiz. Igualmente, las muestras que contengan de manera obvia solo partículas que pasan por el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40), se usarán para determinar las constantes del suelo, sin lavado previo.

## 8 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS DE ENSAYO

---

- 8.1** *Para análisis granulométrico:*

**8.1.1** Se escoge y pesa una porción representativa de la muestra húmeda, que se estime que tenga 50 g de partículas que pasan por el tamiz de 2 mm (No. 10), si el suelo es limoso o arcilloso, ó 100 g si el suelo es arenoso. Para muestras que contengan partículas que no pasan por el

tamiz de 2 mm (No. 10) y para las cuales se necesita hacer el análisis granulométrico, se escoge y pesa una muestra representativa que, en forma estimada, contenga las cantidades requeridas de partículas de las porciones pasante y retenida sobre el tamiz de 2 mm (No. 10). Utilizando una muestra auxiliar, se seca ésta a  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ \text{F}$ ) y se determina la humedad, siguiendo el método descrito en la Norma INV E-122.

**8.1.2** Se satura la muestra húmeda y se lava sobre el tamiz de 2 mm (No. 10), como se describió en el numeral 5.1.2. Después del lavado, el material retenido en el tamiz de 2 mm (No. 10) se seca en un horno a la temperatura de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ \text{F}$ ), se pesa y se guarda para el análisis granulométrico. Si el volumen del agua de lavado y el suelo es muy grande para utilizar el procedimiento de sedimentación, se evapora el exceso de agua: (1) por exposición al aire a temperatura ambiente, (2) por calentamiento en el horno a una temperatura que no exceda de  $110^\circ \text{C}$  ( $230^\circ \text{F}$ ), ó (3) por ebullición. Sin importar el método de evaporación utilizado, se deben tomar las siguientes precauciones: (1) revolver la lechada de vez en cuando, para evitar que se forme un anillo de suelo seco sobre las paredes del recipiente de evaporación, y (2) dejar enfriar la muestra a la temperatura ambiente, antes de ensayarla.

**8.2** *Para la determinación de las constantes del suelo* - Se escoge una porción representativa de la muestra húmeda, que se estime que contiene suficiente material pasante por el tamiz de  $425 \mu\text{m}$  (No. 40) para realizar los ensayos necesarios para determinar las constantes físicas del suelo. Se satura dicha porción y se lava sobre el tamiz de  $425 \mu\text{m}$  (No. 40), como se describió en el numeral 5.2. Se reduce el contenido de agua del material que pasa el tamiz de  $425 \mu\text{m}$  (No. 40) hasta que alcance una consistencia de masilla (más o menos la consistencia que hace necesarios entre 30 y 35 golpes de la cazuela en el ensayo del límite líquido para que la ranura se cierre 13 mm), pero nunca por debajo de su humedad natural. La disminución de la humedad del suelo se puede lograr: (1) por exposición al aire a temperatura ambiente, (2) por calentamiento en un horno a temperatura que no exceda de  $110^\circ \text{C}$  ( $230^\circ \text{F}$ ), (3) por ebullición, o (4) por filtración, empleando un embudo Büchner o filtros de vela. La muestra se debe agitar a menudo durante la evaporación y el enfriamiento, para evitar un excesivo secado de los bordes y picos del suelo en la superficie. Se permite el enfriamiento de las muestras a la temperatura ambiente antes de ensayarlas. Para muestras de suelo que contengan sales solubles, se debe utilizar un método de reducción de agua que no elimine las sales de la muestra. La muestra preparada se debe proteger contra secado

posterior, colocándola en un recipiente apropiado hasta el instante en que se efectúen los ensayos.

## **9 NORMAS DE REFERENCIA**

---

ASTM D 2217-85 (Reprobada 1998)

**Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente**



# PERFORACIONES CON BROCAS DE DIAMANTE PARA INVESTIGACIONES EN EL SITIO

INV E – 108 – 13

## 1 OBJETO

---

- 1.1** Esta norma se refiere al equipo y al procedimiento empleados para realizar perforaciones con brocas de diamante, con el fin de obtener núcleos de roca y de algunos suelos que no pueden ser muestreados mediante los métodos usuales por ser demasiado duros. Mediante este método, se busca obtener datos para el diseño de fundaciones y de taludes y otros propósitos de ingeniería, antes que para la exploración de minerales y de minas.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E–108–07.

## 2 IMPORTANCIA Y USO

---

- 2.1** Los núcleos de roca son muestras de registro de las condiciones existentes bajo la superficie en los lugares donde se realizan las perforaciones. Se espera que las muestras suministren indicaciones significativas en relación con la naturaleza geológica, física e ingenieril del subsuelo, que sean de utilidad para el diseño y construcción de una estructura de ingeniería.
- 2.2** Los núcleos de roca se deben preservar durante algún tiempo mediante procedimientos específicos y se deben manejar de manera que sus propiedades no se vean alteradas de ninguna manera a causa de daño mecánico o por cambios de temperatura y humedad u otros factores ambientales. El tiempo de almacenamiento dependerá de la naturaleza e importancia de la obra.

## 3 EQUIPO

---

- 3.1** *Máquina de perforación rotatoria* – Capaz de proporcionar un movimiento rotatorio, con alimentación y retracción accionados mecánica o hidráulicamente.

- 3.2** *Bomba de agua o de lodos para perforación* – O compresor de aire, que pueda producir un volumen y una presión de fluido de perforación suficientes para el tamaño (diámetro y profundidad) del orificio que se va a perforar.
- 3.3** *Tubos toma muestras como sean requeridos:*
- 3.3.1** *De pared sencilla* – Consiste en un tubo hueco, con una cabeza roscada en el extremo superior para acoplar la barra o tubo de perforación. El extremo inferior del tubo está acondicionado con un escariador, un retenedor de núcleos y una broca.
- 3.3.2** *Tubo de pared doble tipo giratorio (swivel)* – Contiene un tubo interior giratorio conectado rígidamente al cabezote, ubicado dentro del tubo toma muestras. El fluido de perforación circula entre los tubos interior y exterior y hace contacto con la muestra en la zona de rima y corona. Este sistema mejora la recuperación de núcleos. Se consiguen tubos dobles más sofisticados, en los cuales el tubo interno se extiende dentro de la broca, y el retenedor se ubica dentro del tubo interior para proteger los núcleos de formaciones blandas o friables.
- 3.3.3** *Tubo de pared sencilla, diseño WG* – Consiste en un tubo de acero hueco, con una cabeza roscada para acoplarse a la varilla o tubo de perforación en un extremo y una conexión de rosca en el otro para acoplar un conjunto de escariador y broca. Se puede ubicar un retenedor de núcleos dentro de la broca, pero puede omitirse a discreción del ingeniero encargado.
- 3.3.4** *Tubo de pared doble giratorio (tipo swivel), diseño WG* – Consiste en un conjunto de dos tubos de acero concéntricos, unidos y acoplados en el extremo superior por medio de una bola o de un eslabón de rodamientos, de modo que gire el tubo exterior sin permitir la rotación del interior. El extremo superior del tubo exterior, o cabeza removible, está roscado para atornillar la varilla o tubo de perforación. El extremo inferior del tubo exterior posee una conexión roscada para acondicionar el escariador y la broca. Normalmente, se incluye un retenedor de núcleos dentro de la broca, pero su uso queda a discreción del ingeniero.
- 3.3.5** *Tubo de pared doble giratorio (tipo swivel), diseño WT* – Es esencialmente lo mismo que el tubo doble giratorio, diseño WG, excepto que el diseño WT emplea tubos con paredes más delgadas, tiene un área anular reducida entre los tubos, y toma núcleos de

mayor longitud en una perforación del mismo diámetro. El retenedor de núcleos está localizado dentro de la broca.

**3.3.6** *Tubo de pared doble giratorio (tipo swivel), diseño WM* – Es similar al tubo doble giratorio, diseño WG, salvo que el tubo interior es roscado en su extremo inferior para recibir un porta retenedor de núcleos que permite la prolongación del tubo dentro de la broca, reduciendo así la exposición del núcleo al fluido de perforación. Dentro del porta retenedor hay un retenedor de núcleos.

**3.3.7** *Tubo de pared doble giratorio, diseño diámetro grande* – Se encuentra en tres tamaños, así:

Diámetro del núcleo	Diámetro de la perforación
69.85 mm (2 ¾")	98.43 mm (3 ⅞")
101.6 mm (4")	139.7 mm (5 ½")
152.4 mm (6")	196.85 mm (7 ¾")

Es similar al tubo doble giratorio diseño WM, con la adición de una válvula de bola para controlar la circulación del fluido (presente en los tres tamaños disponibles) y la adición de un tubo de desperdicios para recoger partículas gruesas y ayudar a mantener limpia la perforación (solamente en los dos tamaños más grandes). El empleo de este diseño está reservado generalmente para trabajos de investigación muy detallados o cuando no se obtiene la recuperación adecuada empleando otros métodos.

**3.3.8** *Tubo de pared doble giratorio, con tubo interior retráctil (Método Wire-line)* – En este diseño, el conjunto conformado por el tubo interior más la muestra recuperada se puede llevar hasta la superficie, y otro tubo interior vacío puede ser introducido hasta el fondo del sondeo a través de la tubería exterior de perforación, evitándose el proceso de extracción y penetración de la tubería en cada toma de muestra. El conjunto de tubo interior consta, además, de un porta retenedor y un retenedor de núcleos en uno de los extremos, mientras que en el extremo opuesto posee una cabeza removible, un acople giratorio, un mecanismo de suspensión y un dispositivo de cierre para asegurar o liberar el conjunto. El dispositivo de cierre del tubo interior se encaja en un nicho localizado en la pared interior del tubo exterior, de manera que el tubo exterior pueda rotar sin generar la rotación del tubo interior y sea factible recuperar el tubo interior accionando un mecanismo de control adecuado desde la superficie. El tubo exterior está roscado para el acople de varillas o tubos de perforación de

diámetros grandes e internamente, su configuración le permite recibir el dispositivo de cierre del tubo interior en un extremo y en el otro, por el sistema de rosca, el acondicionamiento para un conjunto de escariador y broca o solamente la broca.

**3.3.9 Tubos interiores partidos longitudinalmente** – En oposición a los tubos interiores cilíndricos convencionales, éstos permiten la inspección y el acceso al núcleo mediante la simple remoción de una de las dos mitades. No están normalizados, pero los hay disponibles para la mayoría de los tubos toma muestras, incluyendo gran parte de los tipos de tubos internos retráctiles.

**3.4 Brocas saca núcleos** – Son de diversos tipos: impregnadas con partículas de diamante, con inserción de piezas de carburo de tungsteno, o de otros materiales duros similares, apropiados para enfrentar la dureza de los materiales que se perforan. Este refuerzo está distribuido en patrones con diseños en X, en M o cualquier otro que cumpla los requerimientos. Los tamaños de los tubos toma muestras y de las brocas se muestran en la Tabla 108 - 1.

Tabla 108 - 1. Tamaños de los tubos toma muestras<sup>(\*)</sup>

TAMAÑO	DIÁMETRO DE LA PERFORACIÓN		DIÁMETRO DEL NÚCLEO	
	mm	pulgadas	mm	pulgadas
EWX, EWM	38.1	1.5	20.6	0.812
AWX, AWM	49.2	1.957	30.2	1.375
BWX, BWM	60.3	2.375	41.3	1.625
NWX, NWM	76.2	3	54.0	2.125
2 ¾ × 3 ¾ (69.9 × 98.4 mm)	98.4	3.875	68.3	2.687
4 × 5 ½ (102 × 140 mm)	140	5.5	100	3.937
6 × 7 ¾ (152 × 197 mm)	197	7.75	151	5.937

<sup>(\*)</sup>Dimensiones estandarizadas por la *Diamond Core Drill Manufacturers Association*.

**3.5 Tubería de hinca o de revestimiento** – De peso normal o extrapesada, la que se requiera según la naturaleza del suelo o el método de perforación, para atravesar el suelo hasta llegar al manto rocoso. Su diámetro interior debe ser mayor que el diámetro exterior del tubo tomamuestras más grande que se vaya a emplear. Su interior debe estar libre de obstrucciones, resaltos y torceduras.

**3.6 Revestimiento auxiliar** – Cuando sea necesario revestir a través de formaciones ya penetradas o cuando no se han encamisado, se deberá emplear una tubería de revestimiento tal, que su diámetro exterior se ajuste a la perforación existente y su diámetro interior permita el empleo de la broca y del

tomamuestras de tamaño inmediatamente menor. En la Tabla 108 - 2 se muestran tamaños normales de este tipo de tubería.

Tabla 108 - 2. Tamaños estándar de tubería de revestimiento

DIMENSIONES	DIÁMETRO EXTERIOR		DIÁMETRO INTERIOR		ACOMODADO A PERFORACIÓN HECHA CON
	mm	Pulgadas	mm	Pulgadas	
EX	46	1.8125	38.1	1.5	AWX, AWM
AX	57.2	2.2	48.4	1.906	BWX, BWM
BX	73	2.875	60.3	2.187	NWX, NWM
NX	88.9	3.5	76.2	3	2 ¾ X 3 ¾ (69.9 X 98.4 mm)

- 3.7** *Varillas o tubería de perforación* – Su diámetro interno debe permitir la circulación del fluido de perforación a través de la tubería en cantidad suficiente para generar una velocidad de ascenso del fluido entre la tubería y las paredes del orificio, capaz de remover los detritos o desperdicios de manera efectiva.
- 3.8** *Equipo auxiliar* – Incluye brocas de rodillos (triconos), brocas cola de pescado, llaves para tubos, equipo para mezclar el lodo de perforación, herramientas manuales, equipo de seguridad, etc.
- 3.9** *Cajas para las muestras* – Se deben emplear cajas de madera u otro material durable, para proteger, transportar y almacenar los núcleos. Las cajas deben tener espaciadores longitudinales que separen las muestras en compartimientos. Las muestras se deben fijar en su sitio mediante el empleo de pequeños bloques ajustados entre los espaciadores. Estos bloques también se usan para llenar los espacios vacíos que se generan cuando la recuperación de muestra es insuficiente para completar la caja. La parte superior de la longitud muestreada, la cual corresponde a la menor profundidad de exploración, se coloca en la esquina superior izquierda de la caja y los núcleos se colocarán progresivamente en dirección descendente de una manera continua, hasta la cota más profunda, a través de los compartimientos hacia la esquina opuesta de la caja; esto es, en una disposición a la manera de un libro, que se lee de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo. Se deberán marcar de manera clara el comienzo y el final de cada recorrido de perforación. Las partes superior e inferior de cada longitud de núcleo y de cada recorrido se deben indicar claramente sobre espaciadores longitudinales o los bloques, empleando un marcador indeleble. Adicionalmente, se escriben sus profundidades sobre la tapa de la caja en las esquinas correspondientes (Ver norma INV E-113).

## 4 PROCEDIMIENTO

---

- 4.1** Se deben usar procedimientos de perforación por rotación para toma de núcleos, cuando las formaciones encontradas sean demasiado duras para utilizar métodos normales de muestreo de suelos. Una penetración igual o menor de 25.4 mm (1") en 50 golpes en el ensayo de penetración normal (norma INV E-111), (notas 1 y 2), indica que los métodos normales de muestreo de suelos no son aplicables.

*Nota 1: Cuando se requiere una muestra de suelo para ensayo e identificación de un material con una resistencia a la penetración estándar (N) entre 50 y 100 golpes por pulgada, es necesario realizar una perforación por rotación para la toma de núcleos. En materiales como arcillas muy rígidas o lutitas meteorizadas se pueden obtener muestras usando tubos tomamuestras como el muestreador de tubo doble, tipo Denison. Es posible incrementar el muestreo mediante el uso de aire como medio de perforación y el empleo de brocas con dientes de acero endurecido.*

*Nota 2: El límite de 50 golpes por pulgada (25.4 mm) se puede elevar si se prevé que el porcentaje de recuperación de núcleos es bajo y se pueden obtener muestras por los métodos empleados para el muestreo de suelos.*

- 4.2** Se asienta firmemente el revestimiento contra el manto rocoso o el material duro, para evitar la entrada de materiales sueltos a la perforación e impedir que se pierda el fluido de perforación. Cuando sea necesario, se empleará una broca cola de pescado u otra broca apropiada para nivelar la superficie de la roca o del material duro por muestrear. El revestimiento se podrá omitir cuando se observe que las paredes de la perforación se mantienen estables. El lodo bentonítico suele ser efectivo para mantener abierto el orificio de perforación sin necesidad de revestir.
- 4.3** Se comienza la perforación usando un tomamuestras giratorio de tubo doble NWX o NWM. La primera corrida para muestreo es usualmente de 1.52 m (5 pies), debido a las condiciones heterogéneas del contacto suelo-roca (nota 3). El tomamuestras NWM se debe inspeccionar antes de introducirlo en el orificio para asegurarse de que el eslabón giratorio (swivel) está funcionando bien y rotando libremente. Se debe verificar que el espacio entre el tubo interior y la broca sea suficiente para no restringir la circulación del fluido. Ambos tipos de tubos se deben revisar para que no presenten abolladuras o curvaturas que dificulten la recuperación de los núcleos. El tubo también se debe verificar para ver si hay restos de material de la corrida anterior, con el fin de asegurar que esté limpio y sin obstrucciones. El retenedor se debe reemplazar cuando esté desgastado o deteriorado. La broca se debe escoger de acuerdo al tipo de material que se va a perforar. No se puede dejar caer material extraño dentro del hueco; si ello sucede y si no posible recuperar dicho material, se debe abandonar la perforación, reemplazándola por una

nueva. Las tuberías de perforación deben presentar una completa rectitud, de lo contrario, los tramos curvos deberán ser descartados.

*Nota 3: En materiales blandos, se pueden usar en un comienzo tubos de diámetro mayor. Cuando la experiencia local indique una recuperación satisfactoria de núcleos o cuando sea de conocimiento que se van a encontrar materiales duros o firmes, se puede usar muestreadores de tubo sencillo o de diámetro más pequeño en lugar de tubos NWX o NWM, y puede ser posible realizar corridas de mayor longitud.*

- 4.4** Se desciende el tubo dentro de la perforación y se coloca suavemente sobre la formación que se va a perforar, para evitar su pandeo o el daño de la broca. La medida de la longitud del tubo y de las varillas que se van a usar es esencial, y se deberá realizar con una aproximación de 30.5 mm (0.1 pie). Se registra la profundidad en el instante en que el tubo hace contacto con el fondo del sondeo. Si la profundidad es menor en más de 30.5 mm (0.1 ft) que la profundidad registrada en la carrera previa, ello significa que puede haber material suelto o un núcleo en el fondo de la perforación. Se conectan, entonces, el porta broca a la cadena de tubos y la línea de abastecimiento de fluido de perforación. Antes de iniciar la rotación, se levanta levemente la cadena de tubos y se inicia la circulación del fluido de perforación. Se permite la circulación del fluido hasta alcanzar la condición de flujo pleno. Se baja la tubería lentamente hasta el fondo y se asienta la broca comenzando lentamente la rotación e incrementando gradualmente la presión vertical, manteniendo el flujo pleno del fluido de perforación. Cuando la broca quede bien asentada, se ajustan la presión vertical y la rotación para obtener una penetración adecuada para el tipo de formación que se está atravesando (nota 4). Se registra la profundidad a la cual se comienza la extracción del núcleo, con una aproximación de 30.5 mm (0.1 pie). Si se llega a bloquear la circulación del fluido durante la perforación, se eleva la broca ligeramente para permitir la restitución del flujo. Si éste no se reactiva, se extraen los elementos de perforación y se corrige el problema para mantener la circulación adecuada del fluido. Es probable que en una misma corrida se encuentre más de un material y que la recuperación sea inferior al 100 % del espesor real de una formación dada. En este caso, para ayudar a interpretar los cambios, se deben controlar la velocidad de penetración y el color y la textura del fluido de perforación a medida que avanza la perforación. Con el propósito de disponer de elementos de juicio para realizar esta interpretación, se deberán anotar y tener en cuenta las profundidades a las cuales se evidencian cambios en la velocidad de penetración y/o en el color y la textura del fluido de perforación. Se recomienda guardar muestras de los materiales que contiene el fluido de retorno cuando cambian el color, la textura o los intervalos de aparición.

*Nota 4: La vida útil de la broca y la velocidad de penetración dependen del uso de la fuerza adecuada sobre la broca y de su velocidad periférica. Esta velocidad debe ser tan alta como sea posible, sin que se*

*generen deformaciones indebidas en el equipo de perforación o una vibración excesiva en la tubería y sus accesorios. La fuerza sobre la broca se debe ajustar de acuerdo con sus especificaciones de diseño (para un determinado diseño de broca, se requerirá menos fuerza para perforar una formación blanda que para penetrar una formación dura). Puede ser necesario anclar el equipo de perforación para obtener suficiente fuerza sobre la broca.*

- 4.5** Después de haber perforado una profundidad equivalente a la longitud del tubo toma muestras (no exceder de 3.05 m y menos si se detectó presencia de material suelto durante el acomodo del tubo), se retira éste del hueco y se remueve el núcleo recobrado. Se coloca el núcleo en la caja, de manera que la parte superior del estrato rocoso se ubique en una esquina de ella, como se describió en el numeral 3.9. Cuando la corrida es mayor que la longitud del primer compartimiento, se mide y se marca temporalmente el siguiente compartimiento a la derecha, en un punto que sea equivalente a la diferencia entre las longitudes del compartimiento y de la corrida, medido desde el extremo izquierdo superior hacia el extremo izquierdo inferior. El primer segmento de roca retirado del muestreador se coloca en la caja de manera que la parte inferior del núcleo quede o bien en el extremo izquierdo más bajo del compartimiento izquierdo o bien en la marca temporal del siguiente compartimiento a la derecha. Cada pieza adicional retirada del muestreador se ubica en la caja, una después de otra, y orientada de manera que el estrato superior siempre esté en la parte superior y/o izquierda de la caja con respecto al estrato más bajo. Se procede a colocar el núcleo en la caja desde el extremo más bajo hacia el extremo superior a medida que es removido del toma muestras, de manera que la parte superior del estrato quede en el extremo superior izquierdo del compartimiento izquierdo, como se describe en el numeral 3.9. Cuando aparentemente se haya removido todo el núcleo del toma muestras, se debe comprobar que ninguna porción del núcleo haya quedado dentro de él, insertándole una regla y verificando la longitud. Una vez retirada toda la muestra del tubo, se ajustan sus piezas dentro de la caja, representando de la manera más cercana a la realidad su longitud in situ, sin generar falsas medidas de recuperación. Se mide la muestra recuperada con una aproximación de 50 mm y se registra esta longitud. A continuación, se marcan las profundidades de las partes superior e inferior del núcleo y cada vacío notable en la formación, por medio de bloques espaciadores claramente etiquetados. Los núcleos friables y aquellos que se alteren con la pérdida de humedad, se deberán envolver en bolsas plásticas, sellar con parafina, o ambos, siempre que el ingeniero considere que dicho tratamiento es necesario. Las corridas siguientes que corresponden a la misma perforación se colocan en la caja siguiendo el mismo proceso, es decir, ubicando su cara superior inmediatamente después del extremo inferior de la corrida anterior. La longitud de la corrida se mide a partir del final de la anterior, utilizando el compartimiento siguiente ubicado a la derecha de ser necesario, y marcando



la parte inferior de la corrida con un marcador temporal. El primer segmento de roca removido del toma muestras (la parte inferior del núcleo) se deberá colocar en la nueva marca temporal establecida. El núcleo se deberá colocar en la caja de la manera descrita anteriormente.

- 4.6** Cuando se encuentren materiales blandos que presenten un porcentaje de recuperación inferior al 50 %, se deberá considerar un cambio en el tipo de muestreador, en el procedimiento de perforación o en el muestreo de suelo. Si se desea tomar muestras de los suelos, ellas se deberán tomar de acuerdo con los procedimientos descritos en las normas INV E-105 e INV E-111, reanudando el uso del sistema de perforación por rotación con extracción de núcleos cuando se vuelvan a encontrar materiales que produzcan rechazo.
- 4.7** Durante la ejecución de los trabajos, es indispensable detectar, registrar y describir características tan importantes como la estructura de la roca y la presencia de juntas, fisuras, cavidades y áreas falladas. Si la presencia de cavidades o de zonas falladas en la roca impide el avance continuo de la perforación, el orificio se deberá (1) cementar y perforar nuevamente, o (2) escariar y revestir, o (3) revestir y avanzar con un tubo toma muestras cuyo diámetro sea el inmediatamente inferior al que se venía usando, la opción que resulte apropiada según el caso. El mismo procedimiento se debe seguir cuando se encuentren fisuras a través de las cuales se pierde el fluido de perforación (notas 5 y 6).

*Nota 5: Siempre que la pérdida del agua de perforación indique la existencia de condiciones geológicas o geotécnicas importantes, el ingeniero o profesional encargado deberá definir el procedimiento a emplear para avanzar la perforación.*

*Nota 6: Entre otros procedimientos opcionales se encuentran: (1) en rocas blandas, con existencia de juntas u otro tipo de características que dificulten la recuperación, se recomienda el empleo de tubos toma muestras de diseño M; (2) en rocas duras y firmes, en las que se prevé un porcentaje alto de recuperación, se pueden emplear toma muestras de pared sencilla.*

## 5 INFORME

---

- 5.1** El informe debe incluir la siguiente información:
- 5.1.1** Identificación del proyecto, número del sondeo, localización y nombre del operador del equipo.
  - 5.1.2** Cota de la superficie.
  - 5.1.3** Profundidad del nivel freático, incluyendo fechas y horas de las lecturas.

- 5.1.4** Cotas o profundidades a las cuales se perdió el retorno el fluido de perforación.
- 5.1.5** Tamaño y diseño del tomamuestras usado. Tamaño y longitud del revestimiento; registro de la utilización de éste (ubicación, motivo por el cual se requirió, etc.) y de cualquier fenómeno relacionado con su uso.
- 5.1.6** Longitud de cada corrida de muestreo, y longitud, o porcentaje, o ambos, del núcleo recuperado.
- 5.1.7** Descripción de la roca encontrada en cada corrida del sondeo.
- 5.1.8** Descripción de la estructura sub-superficial, incluyendo estratificación, ángulo de buzamiento, cavidades, fisuras y cualquier otra observación que pueda aportar información útil sobre las características de la roca encontrada.
- 5.1.9** Profundidad, espesor y naturaleza aparente del material de relleno de las cavidades o juntas de la roca.
- 5.1.10** Profundidad de los desperdicios de las muestras tomadas del fluido de perforación.
- 5.1.11** Cualquier cambio en las características del fluido de perforación.
- 5.1.12** Fechas de inicio y de finalización de la perforación.

## **6 PRECISIÓN Y SESGO**

---

- 6.1** Esta práctica no produce datos numéricos; por lo tanto, no son aplicables los criterios sobre precisión y sesgo.

## **7 NORMAS DE REFERENCIA**

---

AASHTO T-225-06

## MUESTREO DE SUELOS CON TUBO PARTIDO DE PARED GRUESA Y REVESTIMIENTO DE ANILLOS

INV E – 109 – 13

### 1 OBJETO

---

- 1.1** Esta norma contiene el procedimiento para el muestreo de suelos mediante el uso de tubos partidos de pared gruesa, con el fin de obtener muestras representativas para clasificación y caracterización en laboratorio. El tomamuestras es de pared gruesa con una zapata de corte afilada en su extremo inferior, y una válvula de retención de bola para ventilación. La sección media del tubo corresponde, con frecuencia, al diseño de tubo partido, aunque también se puede usar un tubo de una sola pieza y ambos pueden tener revestimientos de anillos. Generalmente, el tomamuestras se hinca, aunque también se puede introducir a presión en depósitos de suelos blandos. El método permite el empleo de una gran variedad de pesos de martillos de hinca, alturas de caída y diferentes tamaños de tomamuestras, de manera que su operación no se debe reportar de acuerdo con la norma INV E–111 (Ensayo normal de penetración (SPT) y muestreo de suelos con tubo partido) ni se debe calcular la resistencia a la penetración normalizada para arenas según la norma ASTM D 6066.
- 1.2** Este método de ensayo involucra el uso de equipos de perforación por rotación (descritos en las normas ASTM D 5783 y D 6151). Se pueden emplear otros procedimientos de perforación y muestreo que pueden resultar más apropiados (normas ASTM D 6286 y D 6169). Esta norma no cubre la hinca manual o el muestreo superficial sin perforaciones. Las investigaciones del subsuelo se registran y reportan de acuerdo con la norma ASTM D 5434. Las muestras se deben conservar y transportar de acuerdo con el registro del grupo B de la norma INV E–103. Las muestras se deben identificar por nombre y símbolo de grupo, de acuerdo con la norma INV E–102.
- 1.3** El empleo de las muestras obtenidas mediante este tipo de muestreo en la ejecución de ensayos especializados, como los de corte o consolidación, depende del criterio del ingeniero. Las muestras tomadas hincando el tomamuestras suelen presentar mayor alteración que las tomadas a presión, como las obtenidas con tubos de pared delgada (norma INV E–105). No obstante, los tubos de pared delgada no se pueden usar en suelos muy duros. Algunos tipos de suelos pueden aumentar o perder su compresibilidad y/o su resistencia al corte en forma apreciable como consecuencia del muestreo. En

casos como éstos, se deberán efectuar ensayos de comparación para valorar el efecto de la alteración de la muestra sobre la compresibilidad y la resistencia.

- 1.4 Esta norma no pretende tratar con amplitud todos los métodos y factores asociados con el muestreo de suelos. El profesional encargado del estudio deberá tomar la decisión en relación con el equipo y los métodos más adecuados para los requerimientos específicos de su programa de exploración y muestreo. La norma no reemplaza el juicio ni la experiencia profesional. Tampoco incluye recomendaciones sobre planes de seguridad e higiene durante el proceso de perforación y toma de muestras.

## 2 IMPORTANCIA Y USO

---

- 2.1 Esta norma se usa en investigaciones generales de suelos en las cuales se necesita extraer muestras para clasificación y caracterización. Las muestras alteradas se clasifican de acuerdo con la norma INV E-181 y sirven para realizar sobre ellas ensayos de contenido de agua, granulometría y límites de Atterberg. El tomamuestras puede estar equipado con un revestimiento de anillos apilados, los cuales se pueden usar directamente para la ejecución de otros ensayos de laboratorio.
- 2.2 El tomamuestras puede ser hincado mediante un martillo y se puede registrar su resistencia a la penetración. Existen numerosas combinaciones de pesos de martillo y alturas de caída, motivo por el cual los datos pertinentes se deben consignar siempre en el informe. Algunos usuarios han establecido correlaciones entre la resistencia a la penetración y las propiedades geomecánicas del suelo, basadas en las condiciones locales y bajo el empleo de sistemas o equipos específicos; sin embargo, la resistencia a la penetración así obtenida no coincide necesariamente con la determinada mediante el uso de la norma INV E-111.
- 2.3 El usuario debe evaluar la calidad de la muestra. El proceso de hincado puede alterarla y cambiar sus propiedades ingenieriles. En suelos blandos, el uso de tomamuestras de pared delgada (norma INV E-105) proporciona muestras con menor alteración. En suelos más duros, las técnicas de extracción de núcleos pueden dar mejores resultados (normas ASTM D 6151 y D 6169).
- 2.4 La presente norma hace referencia al muestreo durante perforación mecánica. Sin embargo, el tomamuestras puede ser hincado manualmente o, inclusive, en calcatas sin equipo de perforación, situación que se debe reportar en el informe de la exploración.

### 3 EQUIPO

---

- 3.1** *Equipo de perforación* – Se permite el empleo de cualquier equipo de perforación que realice un orificio adecuado antes de la inserción del tomamuestras y que no altere el suelo que va a ser muestreado. Se debe evitar el uso de brocas con descarga de fondo, por cuanto pueden alterar el intervalo de muestreo. Es preferible el uso de brocas con descarga lateral.
- 3.2** *Martinete* – Se puede usar cualquier equipo que provea una penetración entre 1 y 100 golpes por pie (0.30 m). Para la extracción de muestras poco alteradas en suelos blandos, se recomienda efectuar el proceso por empuje más que por hincado del muestreador.
- 3.3** *Conjunto tomamuestras con revestimiento interior de anillos* – Consta de zapata, tubo o barril tomamuestras, tubo para desperdicios (extensión) y cabezote con válvula de retención, aberturas de ventilación y conector de rosca para unir el conjunto a las barras de perforación (Figura 109 - 1). Los diámetros exteriores característicos del tomamuestras son 2", 2 ½", 3" y 3 ½". Se pueden utilizar otros tipos de tomamuestras siempre que tengan proporciones similares. La longitud total del conjunto muestreador es, generalmente, de 0.60 m (2 pies). Esta longitud debe ser un número entero para facilitar el registro de las profundidades de perforación a intervalos de 5 cm (o 0.1 pie).
- 3.4** *Tomamuestras con revestimiento interior de anillos* – Los especímenes de ensayo se extraen por medio de un tubo partido o un tubo entero revestido internamente con anillos o tubos de revestimiento removibles. Estos anillos o tubos de revestimiento deberán ser de pared delgada y su tamaño deberá estar de acuerdo con las dimensiones requeridas por las muestras, según los ensayos de laboratorio que se vayan a realizar con ellas. Los anillos y tubos deben encajar ajustadamente dentro del tomamuestras, sin juego libre perceptible en ninguna dirección. Los anillos deben ser de bronce, acero o acero inoxidable, o de algún otro material resistente y no corrosible. El tomamuestras deberá estar dividido en secciones, de manera que se puedan acoplar las que sean necesarias. Cada sección deberá estar diseñada de forma que la adición o la remoción de secciones no suelte, ni permita movimiento, ni afecte adversamente la retención de los anillos dentro del tomamuestras. El muestreador y los anillos deberán estar libres de golpes, abolladuras, rayones, óxido, polvo y corrosión.

*Nota 1: Se recomienda que el tomamuestras contenga entre 4 y 12 anillos o de uno a 2 revestimientos, para proporcionar suficientes muestras para laboratorio. La altura del anillo debe ser igual o menor que su diámetro interno.*

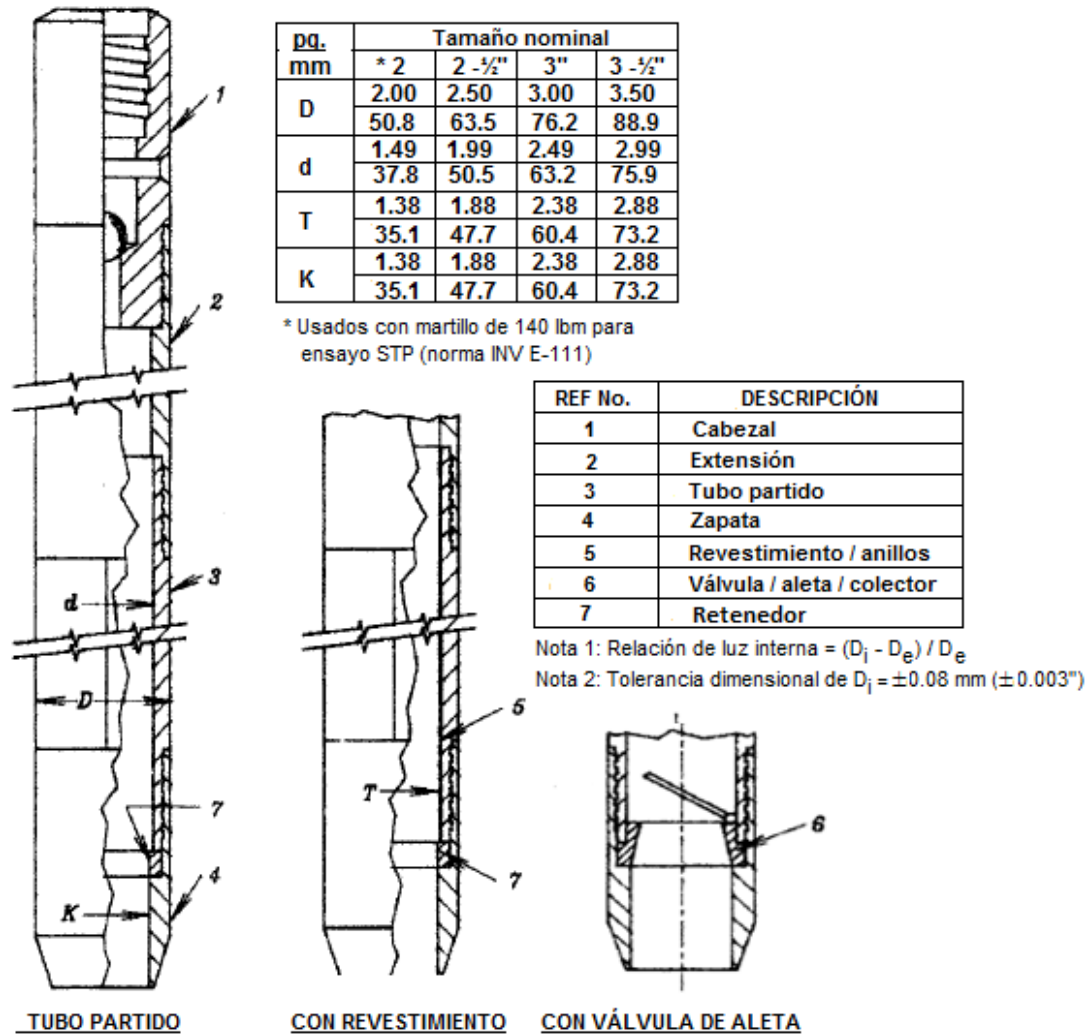


Figura 109 - 1. Equipo de muestreo de tubo partido con revestimiento de anillos

**3.5 Tubo para desperdicios** – Consiste en un tubo diseñado para almacenar el suelo alterado del fondo de la perforación; puede ser removido del muestreador en campo. La longitud de este tubo deberá ser, al menos, de tres veces su diámetro interior y éste deberá ser igual (o levemente mayor) que el diámetro interior de los anillos. Puede poseer anillos o revestimientos para contener el suelo alterado.

**3.5.1** El tubo debe contar con una unión, una válvula de retención y una o más aberturas de ventilación.

**3.6 Zapata** – Similar en diseño a la descrita en la norma INV E-111. En la Figura 109 - 1 se muestran las dimensiones típicas especificadas por DCDMA

(*Diamond Core Drill Manufacturers Association*). El interior del conjunto zapata-tomamuestras deberá ser liso, pulido y uniforme. El uso de zapatas de acero templado mejora la resistencia al daño. No se deben usar zapatas abolladas o torcidas.

- 3.6.1** Se recomienda que la relación entre el área y el bisel de borde cortante se mantenga dentro de las proporciones recomendadas en la norma INV E-111. Sin embargo, para suelos muy duros, la zapata puede ser más roma. Un ángulo de corte menor de 10 grados permite menor alteración del suelo.
- 3.7** *Retenedor* – Se usan varios tipos de retenedores para ayudar en la recuperación. Estos se ubican en el área 7 mostrada en la Figura 109 - 1. Se debe registrar su tipo en caso de que se requieran durante el proceso de perforación.
- 3.8** *Extractor de muestras* – Los anillos llenos con el material se remueven del tomamuestras, presionándolos hacia afuera o, alternativamente, mediante el uso de un tubo partido. El disco extractor debe tener un espesor mínimo de 13 mm (0.5") y su apoyo contra los anillos llenos de muestra debe ser total y firme. Se debe deslizar fácilmente dentro del tubo tomamuestras, sin presiones y sin juego libre.
- 3.9** *Recipientes para anillos llenos con muestras* – Deben ser recipientes anticorrosivos, rígidos, perfectamente ajustados y herméticamente sellados (a prueba de agua). No deben permitir el movimiento de los anillos llenos.
- 3.10** *Elementos adicionales* – Incluyen una prensa para tubo, llaves de tubo, espátulas, cepillos para limpieza, baldes, trapos, formatos, cajas para transportar muestras, cuchillos, marcadores indelebles, gratas, etc. Se debe tener agua a disposición para limpiar el equipo.

## 4 PROCEDIMIENTO

---

- 4.1** Se limpia el orificio perforado hasta la profundidad deseada de muestreo, empleando un método seguro para evitar la alteración del material que se va a muestrear. En arenas y limos saturados, la barrena de perforación se debe levantar lentamente para evitar que se afloje el suelo alrededor del orificio. Si se usa tubería de revestimiento, ella no se debe hincar por debajo de la profundidad deseada de muestreo (cota superior). El agua o el líquido de

perforación se debe mantener siempre al mismo nivel o por encima del nivel freático; es preferible mantener lleno el orificio.

- 4.2** Se debe llevar un registro cuidadoso del avance de la perforación y de la profundidad del tomamuestras, para asegurarse de que el suelo que está siendo muestreado es el suelo original en el fondo del orificio y no está contaminado por el suelo que cae de los lados de éste. Se deben emplear agua, lodos de perforación, barrenas de vástago hueco o tubería de revestimiento, si existe la posibilidad de desprendimiento de las paredes del orificio. En las últimas dos opciones es importante verificar que el suelo no fluya hacia el interior del vástago o de la tubería, como puede ocurrir, por ejemplo, en arenas sueltas bajo el nivel freático. No se permite emplear chorros de arena por fuera de la tubería ni inyecciones a través de un muestreador de tubo abierto, para muestrear posteriormente cuando se alcance la profundidad deseada. No se aconseja el uso de brocas de descarga de fondo.
- 4.3** El dispositivo de muestreo se debe armar y bajar cuidadosamente dentro del hueco. Con el borde cortante de la zapata descansando sobre el suelo (profundidad inicial para toma de muestra) y con el nivel de agua de perforación a la profundidad del nivel freático o por encima de éste, se hincan y empujan los tomamuestras dentro del suelo, lo suficientemente profundo para que los detritos, el lodo y el suelo alterado por la perforación queden dentro del tubo para residuos; en ningún caso se puede hincar o empujar el equipo de muestreo más allá del total de la longitud de la zapata, del tomamuestras y del tubo para desperdicios. Se debe evitar la pérdida de cualquier muestra por operaciones inapropiadas de la válvula de retención. Se deben registrar las profundidades de inicio del muestreo y la de avance.
- 4.4** Cuando sea necesario usar un martillo para hincar el equipo de muestreo, se debe registrar la resistencia a la penetración en incrementos constantes de profundidad, de acuerdo con el programa de pruebas de campo. En este caso, se deberán anotar, también, la masa del martillo, la altura de la caída, el número de golpes y la profundidad del intervalo penetrado.
- 4.5** Se extrae el tomamuestras una vez se ha tomado la muestra. En algunos casos, resulta conveniente esperar un tiempo corto antes de sacarlo. El tubo se puede rotar para cortar la base de la muestra. El tomamuestras se debe extraer a una velocidad tal, que se conserve la muestra. Si la presión de fluidos en la tubería es excesiva, se deben proveer aberturas de ventilación para aliviarla. Se pueden usar retenedores cuando se vuelve difícil la recuperación de la muestra.



- 4.6** Se desarma cuidadosamente el dispositivo de muestreo, evitando la alteración de la muestra en cuanto sea posible. Las muestras alteradas se pueden colocar en recipientes apropiados, como bolsas plásticas o tarros sellados. Los recipientes se deben identificar adecuadamente. Las muestras contaminadas o dudosas se deben descartar.
- 4.7** En caso de haber empleado anillos o tuberías de revestimiento, se deben tapar sus extremos, una vez se haya cortado el suelo a ras con ellos. Si el suelo va a ser almacenado dentro de los anillos o las tuberías por más de 72 horas, se deben sellar las tapas correspondientes. Se verifica que no haya movimiento del suelo dentro de los anillos y que el espécimen no se haya alterado al ser removido del tubo. Si el suelo del anillo del extremo inferior no sobresale de éste después de retirar la zapata, ese material solamente se podrá emplear para realizar ensayos de clasificación y contenido de humedad. Si el o los anillos superiores contienen vacíos, depresiones o cualquier material diferente del suelo que está siendo muestreado, se debe desechar el suelo contenido en ellos. No se permite rellenar los vacíos en los extremos de los anillos con suelo adicional.
- 4.8** Se clasifica la muestra de suelo de acuerdo con el procedimiento descrito en la norma INV E-102 y se examina el material en cuanto a estructura, consistencia, color y condición. Se anotan e incluyen estas observaciones en el informe.
- 4.9** Se describe la condición de humedad de la muestra según la misma norma INV E-102. De ser necesario, se determinará el contenido de humedad de un espécimen tomado de la zapata o del anillo del fondo, empleando la norma INV E-122.
- 4.10** La muestra se deberá conservar y transportar de acuerdo con la norma INV E-103.

## 5 INFORME

---

- 5.1** Se deberá consignar la siguiente información:
- 5.1.1** Nombre y localización de la obra.
  - 5.1.2** Fecha de la perforación y horas de inicio y de finalización.
  - 5.1.3** Número y localización de la perforación.

- 5.1.4** Cota de la superficie del terreno, si se dispone de ella.
- 5.1.5** Número y profundidad de la muestra.
- 5.1.6** Método de avance del tomamuestras, peso del martillo, altura de caída, resistencia a la penetración, presiones de empuje empleadas y longitudes recuperadas.
- 5.1.7** Descripción y tamaño del tomamuestras, diámetro externo, tipo de zapata, diámetro interior de la zapata, anillos o tubo partido. Longitud del ensamble o conjunto de muestreo. Tipo de retenedor, si se empleó alguno.
- 5.1.8** Descripción del suelo (norma INV E-102) y resultado de cualquier ensayo de laboratorio que se haya realizado con las muestras obtenidas.
- 5.1.9** Descripción de las condiciones de humedad o resultados de los ensayos para determinarla, si se efectuaron (normas INV E-122, INV E-135 o INV E-150).
- 5.1.10** Intervalo de profundidad muestreado, intervalo de hincas, longitud de la muestra recuperada y recuperación, expresada como porcentaje.
- 5.1.11** Profundidad del nivel freático o profundidad del agua de perforación y horas de lectura y niveles del fluido.
- 5.1.12** Dimensiones de revestimiento, profundidad revestida.
- 5.1.13** Tipo y descripción del equipo de perforación.
- 5.1.14** Nombres del personal: trabajadores de cuadrilla, ingeniero, inspector, etc.
- 5.1.15** Condiciones del clima.
- 5.1.16** Observaciones generales.

## 6 PRECISIÓN Y SESGO

---

- 6.1** Esta norma no produce datos numéricos o repetibles y, por lo tanto, no es aplicable una declaración sobre precisión y sesgo.

## 7 NORMAS DE REFERENCIA

---

ASTM D 3550 – 07

**Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente**

# ENSAYO NORMAL DE PENETRACIÓN (SPT) Y MUESTREO DE SUELOS CON TUBO PARTIDO

INV E – 111 – 13

## 1 OBJETO

---

- 1.1** Este método describe el procedimiento conocido como Ensayo Normal de Penetración (*Standard Penetration Test* – SPT), el cual consiste en conducir un muestreador de tubo partido dentro del suelo para obtener muestras alteradas representativas con fines de identificación, y medir la resistencia del suelo a la penetración del muestreador. En la norma INVE–109 se describe otro método para hincar un tomamuestras de tubo partido y obtener muestras representativas de suelo, pero la energía del martillo no está normalizada.
- 1.2** La norma ASTM D 6066 presenta una guía para determinar la resistencia a la penetración normalizada de arenas, ajustando la energía correspondiente al valor N a un nivel de energía constante, para evaluar el potencial de licuación.
- 1.3** Los resultados de los ensayos y la información de identificación se emplean para estimar las condiciones del subsuelo en el diseño de cimentaciones.
- 1.4** Los ensayos de resistencia a la penetración se desarrollan, generalmente, a intervalos de 1.5 m (5 pies), o cuando se detectan cambios significativos durante la perforación.
- 1.5** Este método de ensayo se emplea en suelos no litificados y en aquellos cuyo tamaño máximo de partícula es menor que la mitad del diámetro del tomamuestras.
- 1.6** Este método de ensayo involucra el uso de equipos de perforación por rotación (descritos en las normas ASTM D 5783 y D 6151). Se pueden emplear otros procedimientos de perforación y muestreo que pueden resultar más apropiados (normas ASTM D 6286 y D 6169). Esta norma no cubre la hincada manual o el muestreo superficial sin perforaciones. Las investigaciones del subsuelo se registran y reportan de acuerdo con la norma ASTM D 5434. Las muestras se deben conservar y transportar de acuerdo con el registro del grupo B de la norma INV E–103. Las muestras se deben identificar por nombre y símbolo de grupo, de acuerdo con la norma INV E–102.
- 1.7** Esta norma reemplaza la norma INV E–111–07.

## 2 TERMINOLOGÍA

---

**2.1** Los términos específicos aplicables a esta norma son los siguientes:

- 2.1.1** *Malacate de rotación* – Cilindro o tambor de rotación, alrededor del cual el operario enrolla un cable para elevar y dejar caer el martillo, halando y aflojando sucesivamente el cable envuelto.
- 2.1.2** *Varillas o tubos de perforación* – Varillas o tubos empleados para transmitir la fuerza y el torque a la broca de perforación, mientras se efectúa el sondeo.
- 2.1.3** *Valor de N* – Representación numérica de la resistencia a la penetración de un tomamuestras del tipo tubo partido dentro del suelo. El valor de N, expresado en golpes por pie, es igual a la suma del número de golpes requeridos para hincar el tubo muestreador dentro del intervalo de profundidad de 6 a 18" (0.15 a 0.45 m). Ver numeral 6.3.
- 2.1.4** *Ensayo de penetración estándar, SPT* – Ensayo que se realiza en el fondo de una perforación, el cual consiste en hincar un tomamuestras de tubo partido una distancia de 1.0 pie (0.30 m) en dos intervalos iguales de 6" (0.15 m), inmediatamente después de haberlo hecho en un primer intervalo de asentamiento de 0.15 m (6"). El muestreador tiene un diámetro interno de 38.1 mm (1½") o 34.9 mm (1 3/8"), y el martillo empleado para la hinca tiene un peso aproximado de 623 N (140 lbf) y se deja caer libremente desde una altura de 0.76 m ± 0.03 m (30 ± 1.0").
- 2.1.5** *Yunque o cabezal* – Porción del martinete que es golpeada por el martillo y a través de la cual se transmite la energía a la tubería de perforación.
- 2.1.6** *Martinete* – Equipo que incluye un martillo o pesa, un yunque, la guía para la caída del martillo, el sistema de acople a las varillas o tubos de perforación, y los accesorios del sistema de izado y descarga del martillo.
- 2.1.7** *Martillo o pesa* – Parte del martinete, consistente en una pesa de 623 ± 9 N (140 ± 2 lbf) que produce el impacto, la cual se levanta y suelta sucesivamente, generando la energía necesaria para efectuar la penetración y el muestreo.

- 2.1.8** *Sistema de caída del martillo* – La parte del martinete mediante la cual el operario o un sistema automático logra levantar y descargar el martillo para producir el golpe.
- 2.1.9** *Guía para la caída del martillo* – Aquella parte del martinete empleada para dirigir la caída del martillo.
- 2.1.10** *Número de vueltas del cable* – Ángulo de contacto total entre el cable y el malacate de rotación, al comienzo del aflojamiento del cable por el operario, para dejar caer el martillo, dividido por 360° (Ver Figura 111 - 1).
- 2.1.11** *Tubos de muestreo* – Tubos que conectan el martinete con el muestreador. Los tubos de perforación se usan con frecuencia con este propósito.

### 3 IMPORTANCIA Y USO

---

- 3.1** Mediante este método se obtienen muestras alteradas o remoldeadas de suelo, apropiadas para determinar el contenido de humedad, realizar identificación y clasificación del suelo (normas INV E-181 e INV E-102), así como otro tipo de ensayos de laboratorio recomendados para muestras que han sufrido una gran deformación por corte en el momento de su extracción (normas INV E-128, INV E-122 e INV E-123). No es aconsejable efectuar este ensayo sobre depósitos de suelo que contengan gravas, guijarros o cantos rodados ya que generalmente se obtiene rechazo y, además, se puede dañar el equipo.
- 3.2** Las muestras obtenidas por este método son alteradas y sirven para realizar ensayos de contenido de humedad e identificación del suelo en laboratorio. No se deben usar para definir propiedades geomecánicas del suelo mediante ensayos avanzados de laboratorio, pues el proceso de introducción del muestreador altera el suelo y modifica sus propiedades ingenieriles. Para tal efecto, es mejor emplear en suelos blandos las muestras extraídas mediante el tubo de pared delgada (Norma INV E-105) que son mucho menos remoldeadas. En suelos duros, es preferible extraer núcleos que realizar ensayos de SPT, a menos que se trate de un suelo cementado, el cual se podría deshacer por acción del agua durante la extracción.
- 3.3** El método SPT se usa ampliamente en la mayoría de proyectos de exploración geotécnica. La literatura técnica presenta correlaciones, tanto locales como de

uso general, entre el número de golpes N y las características de los suelos del lugar o los comportamientos de terraplenes y cimentaciones diseñadas empleando estos datos. Para evaluar el potencial de licuación de arenas durante un sismo, se debe normalizar el valor N a un nivel de presión de sobrecarga estándar. En la norma ASTM D 6066 se presentan algunos métodos para convertir los valores N medidos, en registros de resistencia normalizada de arenas con respecto a la penetración de un tomamuestras estándar hincado con una energía normalizada. La resistencia a la penetración se ajusta a una relación de energía de 60 % de la varilla de perforación, usando un sistema de martillo con una entrega de energía estimada o midiendo la energía de las ondas de esfuerzo sobre las tuberías de perforación, empleando el método descrito en la norma ASTM D 4633.

*Nota 1: La confiabilidad de los datos e interpretaciones derivadas de este ensayo, depende de la competencia del personal que lo aplica y de la idoneidad del equipo utilizado.*

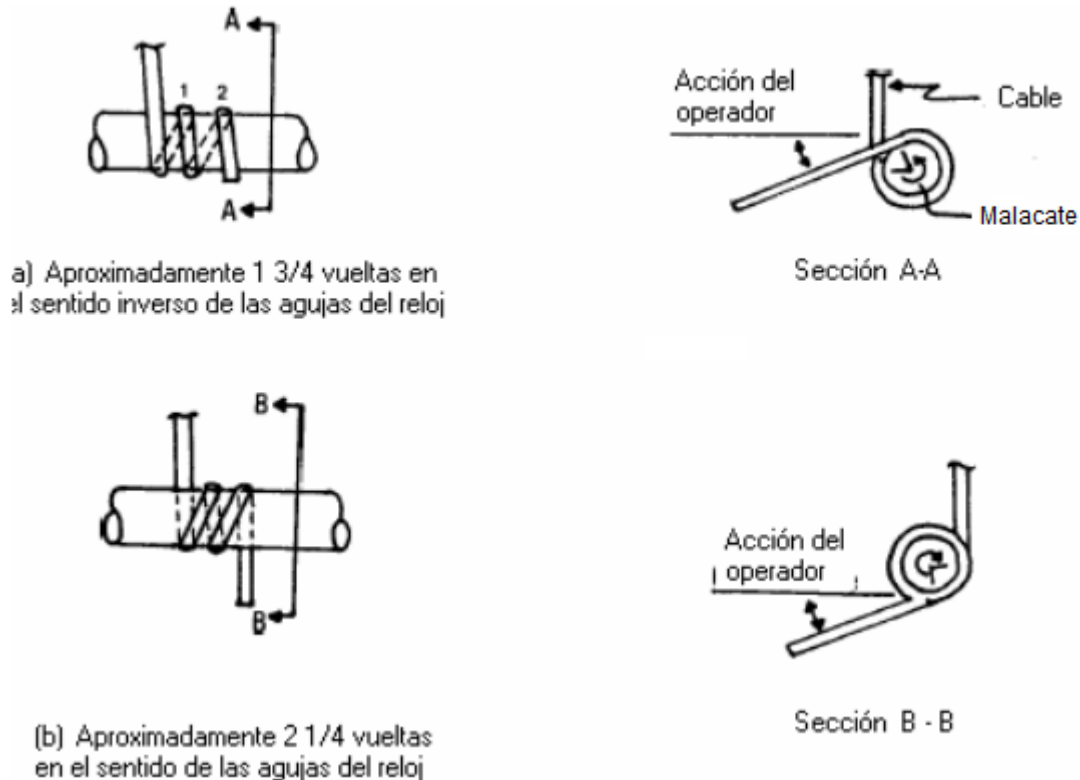


Figura 111 - 1. Definiciones del número de vueltas del cable y del ángulo para (a) Rotación del malacate en sentido contrario a las manecillas del reloj y (b) Rotación del malacate en el sentido de las manecillas del reloj.



## 4 EQUIPO

- 4.1** *Equipo de perforación* – Se permite el empleo de cualquier equipo de perforación que realice simultáneamente con el muestreo un orificio adecuado antes de la inserción del tomamuestras y que no altere el suelo antes de la penetración del tubo muestreador. Este equipo debe contar con los siguientes elementos:
- 4.1.1** *Brocas de arrastre (drag bits), tipo cincel y tipo cola de pescado* – Con diámetros entre 57 mm (2 ¼") y 162 mm (6 ½"), que se pueden usar en conjunto con métodos de perforación rotatoria con y sin revestimiento. Para evitar la alteración del subsuelo, no se permiten brocas de descarga de fondo, sino solamente brocas de descarga lateral.
  - 4.1.2** *Brocas tricono* – Con diámetros entre 57 mm (2 ¼") y 162 mm (6 ½"); se pueden usar en conjunto con métodos de perforación rotatoria con y sin revestimiento, siempre que se desvíe la descarga del fluido de perforación.
  - 4.1.3** *Barrenas helicoidales de vástago hueco* – Con o sin una broca ensamblada en el centro, las cuales se emplean para efectuar el sondeo. El diámetro interior de las barrenas de vástago hueco deberá ser menor de 165 mm (6 ½") y mayor de 57 mm (2 ¼").
  - 4.1.4** *Barrenas tipo balde y barrenas helicoidales continuas y sólidas* – Entre 57 mm (2 ¼") y 165 mm (6 ½") de diámetro; se pueden emplear siempre y cuando las paredes de la perforación no se derrumben durante el muestreo.
- 4.2** *Tuberías para muestreo* – Se pueden emplear tubos de perforación de acero de junta lisa para conectar el tomamuestras de tubo partido al martinete. La rigidez del tubo de muestreo (momento de inercia) deberá ser igual o mayor que la de una varilla de perforación de pared paralela tipo "A", el cual corresponde a un tubo de acero con diámetro exterior de 41.3 mm (1-5/8") y un diámetro interior de 28.5 mm (1-1/8").
- 4.3** *Tomamuestras de tubo partido (muestreador de media caña estándar)* – Las dimensiones típicas se muestran en la Figura 111 - 2. Tiene un diámetro exterior de 50.8 mm (2"). El diámetro interior (dimensión D en la Figura 111 - 2) puede ser 38.1 mm (1 ½") o 34.9 mm (1 3/8"). El tomamuestras de 38.1 mm (1 ½") puede llevar un revestimiento interior de calibre 16. La zapata de hinca

debe ser de acero templado y se debe remplazar cuando presente abolladuras o distorsiones. El extremo de esta zapata puede ser ligeramente redondeado. El tomamuestras posee una válvula de retención de bola o esfera y aberturas de ventilación. Se pueden usar canastillas plásticas o metálicas para retener las muestras de suelo.

*Nota 2: La teoría y la práctica sugieren que los valores de N pueden diferir entre 10 % y 30 % cuando se usan muestreadores de diámetro interior constante en comparación con muestreadores de pared alterada. Para corregir el valor N por el uso de este tipo de muestreadores, se debe consultar la norma ASTM D 6066. El uso de este tipo de muestreadores permite emplear retenedores si son necesarios, reduce la fricción interna y mejora la recuperación. Sin embargo, en muchos países se continúa el uso, aceptado dentro de esta norma, del tomamuestras de diámetro interno constante.*

#### 4.4 Martinete:

**4.4.1 Martillo y yunque** – El martillo deberá pesar  $623 \pm 9$  N ( $140 \pm 2$  lbf) y deberá ser una masa metálica sólida y rígida. El martillo deberá golpear el yunque directamente cuando cae. Se deberá emplear una guía para permitir la caída libre. Los martillos empleados con el método de malacate y cable deberán tener una capacidad libre de levantamiento de, por lo menos, 100 mm (4"). Por razones de seguridad, se recomienda el empleo de un sistema de martillo con yunque interno (Ver Figura 111 - 3). La masa total del conjunto que soporta el martillo sobre la tubería de perforación no debe ser superior a  $113 \pm 5$  kg ( $250 \pm 10$  lbf).

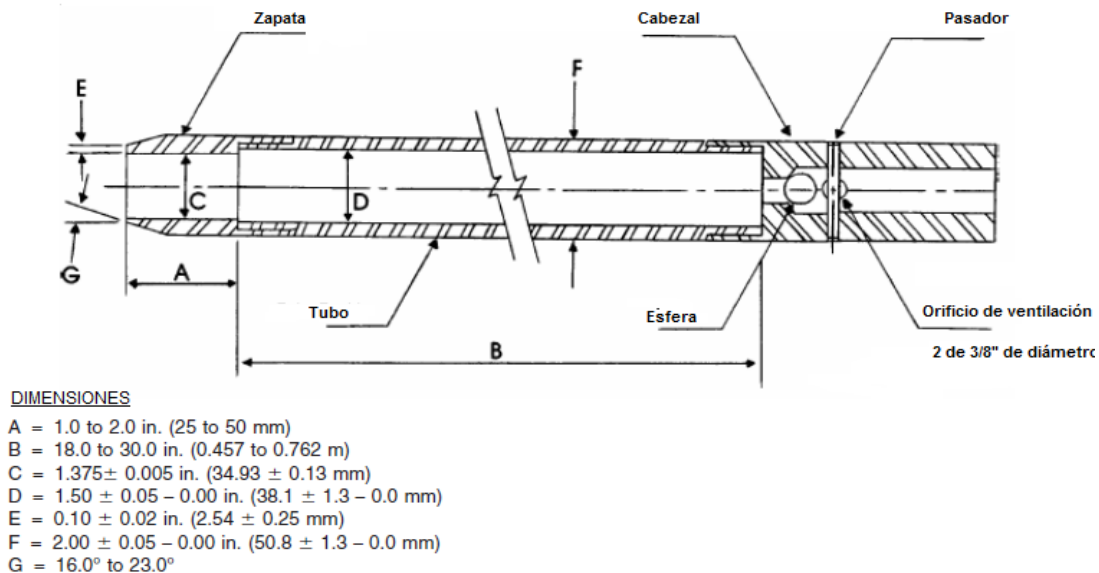


Figura 111 - 2. Tomamuestras de tubo partido

*Nota 3: Se sugiere que la guía del martillo esté marcada de manera permanente, para que el operario o el inspector puedan controlar mejor la altura de caída de éste.*

- 4.4.2** *Sistema de caída del martillo* – Se pueden emplear sistemas como el de malacate-cable, de disparo, o sistemas automáticos o semiautomáticos de caída del martillo, con la condición de que los aparatos de izado no provoquen la penetración del tomamuestras en el momento del reenganche y levantamiento del martillo.
- 4.5** *Equipo accesorio* – Se deben tener en el sitio accesorios tales como etiquetas, recipientes para muestras, hojas para datos y dispositivos para medir el nivel freático, de acuerdo con las exigencias del proyecto.

## 5 PROCEDIMIENTO DE PERFORACIÓN

---

- 5.1** La perforación debe avanzar por incrementos, de manera que permita el muestreo intermitente o continuo. Generalmente, los intervalos y profundidades de los ensayos se definen con anticipación. El intervalo típico es de 1.5 m (5 pies) o menos en estratos homogéneos, con toma de muestra adicional en cada cambio de estrato. La profundidad de la perforación de debe anotar con una aproximación de 0.05 m (o 0.1 pie).
- 5.2** Se acepta cualquier procedimiento de perforación que proporcione un agujero limpio y estable antes de insertar el muestreador y que garantice que el ensayo de penetración se efectúa sobre suelos esencialmente inalterados. Para escoger el método de perforación es importante analizar previamente las condiciones sub-superficiales esperadas. Los siguientes procedimientos se consideran aceptables:
- 5.2.1** Perforación por rotación a pozo abierto.
  - 5.2.2** Perforación con barrenas helicoidales de vástago hueco.
  - 5.2.3** Método de perforación con lavado.
  - 5.2.4** Perforación con barrenas helicoidales macizas.
- 5.3** Algunos métodos de perforación producen huecos inaceptables. Está prohibido emplear el proceso de inyección a través de un muestreador de tubo abierto con posterior toma de suelos, cuando la perforación se encuentra al nivel de muestreo. El método de barrena helicoidal maciza no se permite en perforaciones bajo el nivel freático o en estratos confinados de suelo no cohesivo con presión artésiana. El revestimiento no deberá llegar más allá de la profundidad de muestreo, antes de que éste se realice. Está prohibido el uso

de brocas con descarga de fondo. No se debe avanzar la perforación para la siguiente inserción del tomamuestras, sólo por medio del muestreo previo con el muestreador SPT.

- 5.4** El nivel del fluido de perforación dentro del orificio o la barrena hueca se debe mantener por encima, o al menos al mismo nivel, del nivel freático del terreno durante la perforación, la remoción de la tubería y el muestreo.

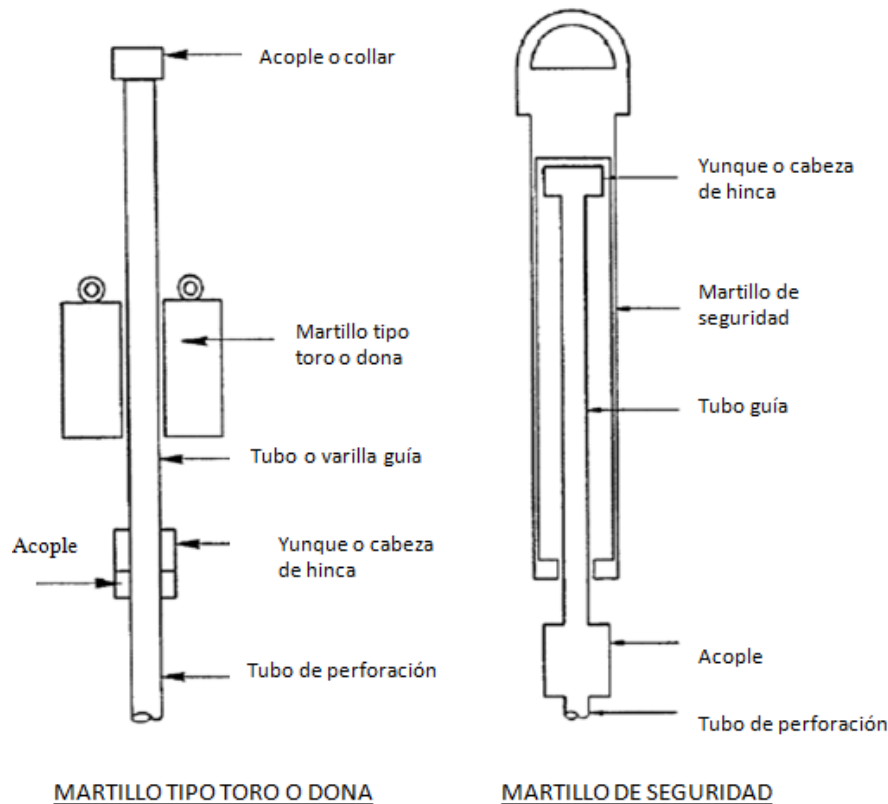


Figura 111 - 3. Tipos de martillos

## 6 PROCEDIMIENTO DE MUESTREO Y ENSAYO

- 6.1** Cuando se alcanza la profundidad deseada para el muestreo, se limpia el fondo de la perforación retirando los residuos o detritos de la misma y se registra la profundidad de limpieza con una aproximación de 0.05 m (o 0.1 pie). Para efectuar el ensayo se sigue el siguiente procedimiento:

- 6.1.1** Se conecta el tomamuestras de tubo partido a la tubería de perforación y se baja suavemente dentro del hueco. No se debe

permitir que el tubo muestreador caiga dentro del suelo que va a ser ensayado.

- 6.1.2** Se coloca el martillo en posición y se instala el yunque en la parte superior de la tubería de muestreo. Esto se puede hacer antes de bajar la tubería y el tomamuestras.
  - 6.1.3** Se dejan descansar suavemente el muestreador, la tubería, el yunque y el peso de hinca sobre el fondo de la perforación. Se anota la profundidad de inicio con una aproximación de 0.05 m (o 0.1 pie). Se compara esta profundidad con la de limpieza hallada en el numeral 6.1. Cuando los residuos encontrados en el fondo de la perforación son excesivos, ésta se debe volver a limpiar previo retiro del tomamuestras y de la tubería.
  - 6.1.4** Se marcan los tubos de perforación en tres incrementos sucesivos de 0.15 m (6"), de manera que se pueda observar fácilmente el avance del muestreador bajo el impacto del martillo para cada incremento.
- 6.2** Se hinca el tomamuestras a golpes del martillo de 623 N (140 lbf) y se cuenta el número de golpes aplicados en cada incremento de 0.15 m (6"), hasta que se presente una de las siguientes condiciones:
- 6.2.1** Que se haya aplicado un total de 50 golpes en cualquiera de los tres incrementos de 0.15 m (6") descritos en el numeral 6.1.4.
  - 6.2.2** Que se haya aplicado un total de 100 golpes.
  - 6.2.3** Que no se observe avance del tomamuestras durante la aplicación de 10 golpes sucesivos del martillo.
  - 6.2.4** Que el tubo muestreador avance los tres incrementos completos [0.45 m (18")], sin que se haya presentado ninguna de las situaciones descritas anteriormente.
  - 6.2.5** Si el muestreador se hunde bajo el peso del martillo, el peso de la tubería o de ambos, se registra la longitud recorrida con aproximación de 0.05 m (o 0.1 pie), y se continúa hincando el muestreador a través del tramo que queda de ese intervalo. Si se hunde el intervalo completo, se detiene la perforación, se retiran el tomamuestras y la tubería de muestreo y se avanza la perforación a través del suelo muy blando o suelto hasta la siguiente profundidad de muestreo

programada. En este caso, se registra el valor de N como el peso del martillo, el peso de la tubería o ambos.

- 6.3** Se anota el número de golpes requeridos para avanzar el muestreador cada 0.15 m (6") de penetración o fracción. Se considera que los primeros 0.15 m (6") corresponden a la acomodación del equipo. Por tanto, la suma del número de golpes requeridos para el segundo y tercer intervalo de 0.15 m (6") de penetración, se llama la "resistencia a la penetración normal" o "valor N". Si el tomamuestras se hinca menos de 0.45 m (18"), como se plantea en los casos 6.2.1, 6.2.2 y 6.2.3, se reporta en el registro de la perforación el número de golpes correspondiente a cada incremento de 0.15 m (6") y a cada incremento parcial. Para los incrementos parciales, se informan la penetración conseguida, con una aproximación de 25 mm (1"), y el número de golpes correspondiente. Si el muestreador penetra el suelo bajo el simple peso estático de la tubería de perforación o bajo el peso de ésta más el peso estático del martillo, se deberá anotar esta información en el registro de la perforación.
- 6.4** La elevación y caída del martillo de 623 N (140 lbf), se efectúa mediante cualquiera de los siguientes métodos:
- 6.4.1** *Método A* – Se emplea un sistema de caída de desenganche, semiautomático o automático, que levanta el martillo de 623 N (140 lbf) y lo deja caer  $0.76 \pm 0.03$  m ( $30 \pm 1.0$ ") sin ningún obstáculo. La altura de caída en estos sistemas se debe verificar diariamente y a la menor indicación de variaciones en su comportamiento. En la operación de los martillos automáticos se deben atender estrictamente los manuales de operación.
- 6.4.2** *Método B* – Se usa un malacate o cilindro de rotación para halar un cable atado al martillo. Cuando se usa el método del cable con malacate o cilindro de rotación, el sistema y la operación deberán cumplir con las siguientes condiciones:
- 6.4.2.1** El cilindro de rotación deberá estar esencialmente libre de óxido, aceite o grasa y tener un diámetro entre 150 y 250 mm (6 y 10").
- 6.4.2.2** El malacate se debe operar a una velocidad mínima de 100 rpm.
- 6.4.2.3** Generalmente, se usan 1.75 o 2.25 vueltas de cable sobre el malacate, dependiendo de si éste sale de la parte superior

(1.75 vueltas para rotación contraria a las manecillas del reloj) o de la parte inferior (2.25 vueltas para rotación en el sentido de la manecillas del reloj) del cilindro de rotación durante el ensayo de penetración (Ver Figura 111 - 1). Se sabe y acepta, que más de 2.75 vueltas de cable impiden la caída adecuada del martillo y no se deberán emplear para efectuar el ensayo. El cable del malacate debe ser firme y estar relativamente seco y limpio y se deberá remplazar cuando se encuentre desgastado, grasoso, flácido o quemado.

- 6.4.2.4** El operador deberá levantar y dejar caer el martillo desde una altura de  $0.76 \pm 0.03$  m ( $30 \pm 1.0''$ ) en cada golpe. La operación de halar y soltar el cable se efectúa rítmicamente, sin detenerlo o inmovilizarlo en la parte superior durante la carrera.

*Nota 4: Si la altura de caída del martillo es diferente de  $0.76 \pm 0.03$  m ( $30 \pm 1.0''$ ), se debe registrar en el informe la altura real de caída. La norma ASTM D 4633 proporciona datos sobre las mediciones de energía para alturas de caída variables y la norma ASTM D 6066 provee información para ajustar el valor de N a un nivel de energía constante (60 % del teórico, N60).*

- 6.5** Se saca el muestreador a la superficie y se abre. Se registra el porcentaje de recuperación, con una aproximación del 1% o la longitud de la muestra recuperada con una aproximación de 0.05 m (o 0.1pie). Se describe la muestra de suelo extraída de acuerdo con la norma INV E-102; se coloca luego una o más porciones representativas de la muestra en frascos o recipientes sellados, sin apisonar o distorsionar cualquier estratificación aparente. Se sella cada recipiente para evitar la evaporación de la humedad del suelo. Se fijan etiquetas a los recipientes con el nombre de la obra, el número de la perforación, la profundidad de la muestra, y el número de golpes por cada 0.15 m (6"). Se protegen las muestras contra cambios extremos de temperatura. Si se nota un cambio de suelo dentro del muestreador, se debe emplear un frasco para cada estrato y se anota su localización dentro del tomamuestras. La conservación y el transporte de las muestras se realizan de acuerdo con la norma INV E-103, usando el grupo B.

## 7 INFORME

---

- 7.1** La información de la perforación se registra en campo e incluye:

- 7.1.1** Nombre y localización de la obra.

- 7.1.2** Nombres de los integrantes del grupo perforador.
  - 7.1.3** Tipo y marca del equipo de perforación.
  - 7.1.4** Condiciones meteorológicas.
  - 7.1.5** Fechas y horas de iniciación y finalización del sondeo.
  - 7.1.6** Número de la perforación y su localización (estación y coordenadas o distancias a algún eje de referencia).
  - 7.1.7** Cota de la perforación.
  - 7.1.8** Método de avance y limpieza de la perforación.
  - 7.1.9** Método usado para mantener abierta la perforación.
  - 7.1.10** Profundidad del nivel freático y profundidad a la cual se reportan pérdidas del fluido de perforación. Fechas y horas de estas lecturas.
  - 7.1.11** Localización de los cambios de estratos.
  - 7.1.12** Dimensiones del revestimiento, profundidad de la parte revestida de la perforación (aproximación de 0.05 m).
  - 7.1.13** Equipo y método de hincado del muestreador, A o B.
  - 7.1.14** Tipo de muestreador, su longitud y diámetro interior. Se debe aclarar si se usó canasta retenedora o no.
  - 7.1.15** Dimensiones, tipo y longitud de la tubería de muestreo.
  - 7.1.16** Observaciones.
- 7.2** El informe correspondiente a cada muestra incluye:
- 7.2.1** Profundidad de la parte superior de la muestra, con aproximación a los 0.05 m (o 0.1 pie), y número de la muestra.
  - 7.2.2** Descripción del suelo.
  - 7.2.3** Cambios de estratos dentro de la muestra.



**7.2.4** Penetración del muestreador y longitudes recuperadas. Aproximación de 0.05 m (o 0.1 pie).

**7.2.5** Número de golpes para cada 0.15 m (6") o incremento parcial.

## 8 PRECISIÓN Y SESGO

---

**8.1** *Precisión* – Los datos sobre precisión de este ensayo no se presentan, debido a la naturaleza de esta prueba. Es poco factible, además de costoso, disponer de 10 o más empresas participando en un programa de ensayos in situ en un mismo lugar.

**8.1.1** Los conocimientos actuales sobre precisión, basados en datos suministrados por usuarios de este método, indican que:

**8.1.1.1** Se han observado variaciones en valores N de 100 % o más, cuando se emplean diferentes aparatos y perforadores, incluso en perforaciones adyacentes dentro de la misma formación de suelo. La opinión actual, basada en la experiencia en el campo, es que al usar el mismo aparato y el mismo perforador, los valores N en el mismo suelo se pueden reproducir con un coeficiente de variación cercano a 10 %.

**8.1.1.2** El empleo de elementos defectuosos como, por ejemplo, un yunque extremadamente grande o dañado, un malacate oxidado y/o de baja velocidad, un cable viejo y grasiento o unas poleas pobremente lubricadas o pesadas, puede contribuir de manera significativa a generar diferencias en los valores N obtenidos entre parejas de sistemas operario-equipo.

**8.2** *Sesgo* – No hay un valor aceptado como referencia para este método de ensayo; por lo tanto, no se puede determinar el sesgo.

## 9 NORMAS DE REFERENCIA

---

ASTM D 1586–11

**Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente**

# EXPLORACIÓN Y MUESTREO DE SUELOS MEDIANTE BARRENAS

INV E – 112 – 13

## 1 OBJETO

---

- 1.1** Esta norma incluye los equipos y los procedimientos para el uso de barrenas en exploración geotécnica de poca profundidad. Esta norma no aplica a la exploración y el muestreo de suelos mediante barrenas con vástago hueco.
- 1.2** Esta norma no incluye consideraciones acerca de la caracterización geoambiental de un sitio, como tampoco sobre la instalación de pozos de monitoreo, trabajos que están descritos en la guía ASTM D 5784.

## 2 IMPORTANCIA Y USO

---

- 2.1** La perforación mediante barrenas representa, a menudo, el método más simple de exploración y muestreo del suelo. Mediante su ejecución, se obtienen muestras alteradas del terreno; además, son de utilidad para determinar la posición del nivel freático y para detectar los cambios de estrato en el perfil; así como para el avance de perforaciones para la ejecución de ensayos de penetración normal y muestreo con tubo partido (Método de ensayo INV E–111) y para el muestreo de suelos con el tubo de pared delgada (norma INV E–105). El equipo requerido es simple y de fácil adquisición. Sin embargo, la profundidad de perforación con barrenas está limitada por las condiciones del agua subterránea y por las características del suelo y del equipo utilizado.

## 3 APARATOS

---

**3.1** *Barrenas de operación manual:*

**3.1.1** *Barrenas helicoidales* – Barrenas pequeñas y livianas, generalmente disponibles en tamaños de 25.4 a 76.2 mm (1 a 3") (Figura 112 - 1.a).

**3.1.1.1** *Barrena tipo espiral* – Consiste en una tira metálica plana y delgada, doblada mecánicamente en una configuración de espiral de paso uniforme. Tiene en uno de sus extremos una

punta endurecida o cortante y en el opuesto un medio de conexión a un eje o extensión.

**3.1.1.2 Barrena salomónica** – Similar a un taladro de carpintería para madera. Generalmente forjada en acero y construida con el tamaño y la configuración deseados. Normalmente, está provista de puntas afiladas y endurecidas en el extremo y un eje integral que se extiende a través de toda su longitud para acoplarla al mango o a una extensión en el extremo opuesto.

**3.1.2 Barrenas tubulares abiertas** – De tamaño variable entre 38.1 mm y 203.2 mm (1.5 a 8"); se caracterizan por parecer esencialmente tubulares cuando se observan desde el extremo de la excavación (Figura 112 - 1.b).

**3.1.2.1 Barrena tipo orchard-barrel** – Consiste en un tubo que en uno de sus extremos tiene aristas cortantes o puntas afiladas y endurecidas para penetrar la formación, y en el extremo opuesto un adaptador acondicionado para una extensión o un mango (Figura 112 - 1.c).

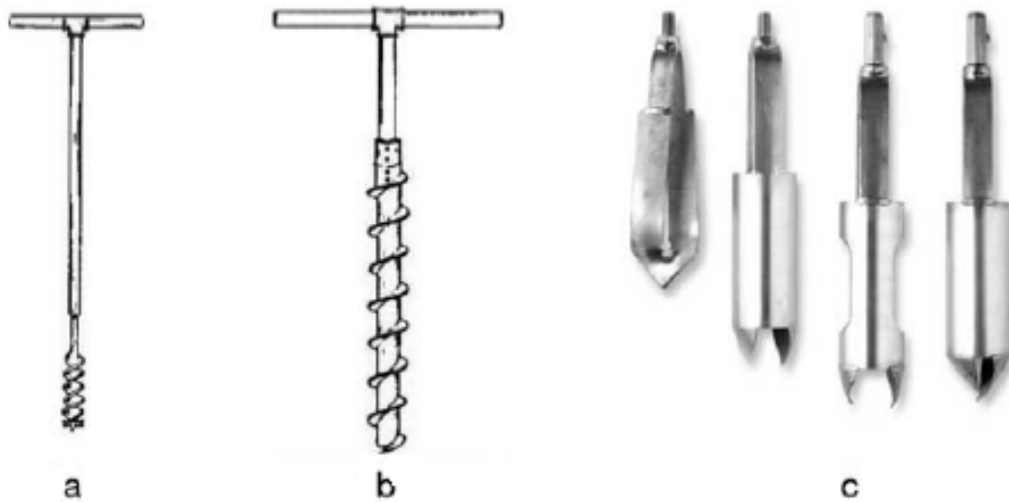


Figura 112 - 1. Barrenas de operación manual

**3.1.2.2 Barrena de tipo espiral abierta** – Consiste en una lámina metálica delgada que ha sido enrollada helicoidalmente alrededor de un tubo para formar una espiral en la cual las caras planas de la lámina son paralelas al eje del sondeo. Los bordes inferiores de la espiral tienen un revestimiento duro

para mejorar las características de resistencia. El extremo opuesto está acondicionado con un adaptador para una extensión.

- 3.1.2.3** *Barrena tipo espiral cerrada* – Casi idéntica a la de tipo espiral abierta, excepto porque el paso entre espirales es mucho menor.
- 3.1.3** *Posteadoras* – Generalmente de 50.8 a 203.2 mm (2 a 8"). Se caracterizan por disponer de elementos para retener el suelo muestreado.
- 3.1.3.1** *Posteadora tipo almeja* – Consta de dos mitades abisagradas de manera que pueden ser abiertas o cerradas para excavar y recuperar (Figura 112 - 2.a). No se recomienda para profundidades mayores de 1.07 m (3.5 pies).
- 3.1.3.2** *Posteadora tipo iwan* – Consiste en dos segmentos tubulares de acero, conectados por la parte superior a un elemento común para formar un tubo casi completo, pero con aberturas diametralmente opuestas (Figura 112 - 2.b). Está conectada en la parte inferior con dos cuchillas radiales acondicionadas para cortar y retener la muestra de suelo. El accesorio para manejo o extensión se encuentra en el dispositivo de acople superior.

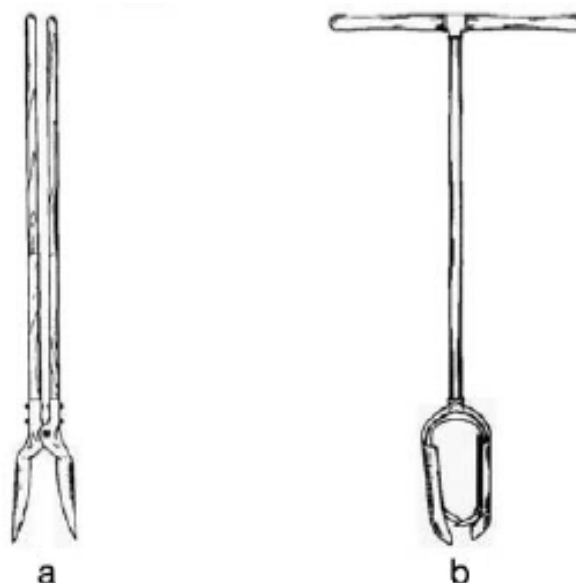


Figura 112 - 2. Posteadoras

### 3.2 *Barrenas de operación mecánica:*

- 3.2.1** *Barrena helicoidal* – Generalmente de 101.6 a 1219 mm (de 4 a 48"). Consiste, esencialmente, en un vástago central acondicionado con un acople para la aplicación de la potencia, que cuenta con 1 a 6 espirales completas (360°) para conducir y almacenar el suelo cortado (Figura 112 - 3.a). Los dientes cortantes y las puntas de guía son adecuados para perforar en formaciones moderadas y duras y son reemplazables fácilmente en el terreno. Estas barrenas son operadas, generalmente, por máquinas diseñadas para trabajos de construcción pesada.
- 3.2.2** *Barrena en aguijón* – Generalmente de 76.2 mm a 762 mm (3 a 30"). Es similar a la anterior pero más liviana y, generalmente, más pequeña. Comúnmente, es operada por máquinas de trabajo liviano, como las utilizadas para la ejecución de orificios para la instalación de postes de energía eléctrica.
- 3.2.3** *Barrena de disco* – Por lo general de 254 a 762 mm (10 a 30"). Consiste, esencialmente, en un disco plano de acero con segmentos removibles diametralmente opuestos y con un acople en la parte central para la aplicación de la potencia (Figura 112 - 3.b). Dientes cortantes reemplazables, que descienden desde los bordes de ataque del otro segmento, excavan y cargan el suelo, el cual es sostenido sobre el disco por medio de válvulas u obturadores abisagrados con el fin de cerrar los segmentos removibles. La barrena de disco está diseñada específicamente para ser operada por máquinas que tengan una luz vertical limitada entre el vástago y la superficie del terreno
- 3.2.4** *Barrena de balde* – Usualmente de 304.8 a 1219 mm (12 a 48") (Figura 112 - 3.c). Consiste, esencialmente, en una barrena de disco sin acople, pero abisagrada al fondo de un tubo o balde de acero de, aproximadamente, el mismo diámetro que la barrena de disco. El acople para la transmisión de la potencia está ubicado en la parte superior central del balde, en una pieza transversal prevista para tal efecto.

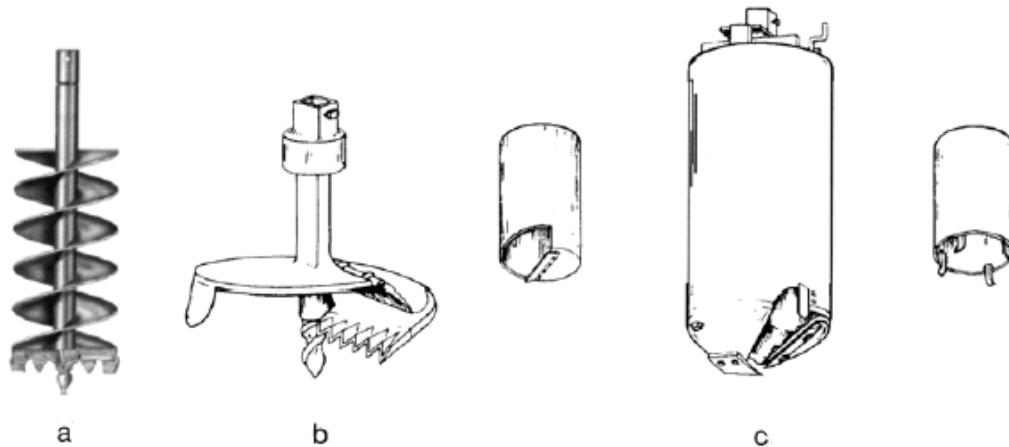


Figura 112 - 3. Barrenas de operación mecánica

- 3.3** *Encamisado o revestimiento* – Para instalar cuando se requiera. Es una tubería de diámetro ligeramente mayor que el de la barrena empleada.
- 3.4** *Elementos accesorios* – Etiquetas, hojas para el registro de campo, frascos, parafina, bolsas, cajas metálicas para muestras y demás herramientas y suministros necesarios.

## 4 PROCEDIMIENTO

- 4.1** Se lleva la perforación hasta la profundidad deseada mediante rotación. Se retira la barrena y se remueve el suelo para su inspección y para la toma de la muestra. Se introduce nuevamente la barrena y se repite el procedimiento cuantas veces sean necesarias, hasta alcanzar la profundidad de sondeo planeada.
- 4.2** Cuando los suelos son inestables, se requiere encamisar o entubar la perforación para que ésta permanezca abierta, especialmente cuando la operación se extiende bajo el nivel freático. El diámetro interior del revestimiento debe ser ligeramente mayor que el diámetro de la barrena. Esta tubería se hinca a una profundidad no mayor que la parte superior de la siguiente muestra que se prevé tomar y se deberá limpiar con la barrena. La barrena se inserta entonces dentro de la perforación y se rota bajo el fondo del encamisado para obtener una muestra a esa profundidad.
- 4.3** La barrena se usa tanto para perforar el suelo como para obtener muestras alteradas del mismo. Durante el sondeo, la estructura de un suelo cohesivo se

destroza totalmente y la humedad puede cambiar a causa de la acción del equipo. Las muestras se deben almacenar en frascos o recipientes herméticos apropiadamente etiquetados. Si durante la extracción de una muestra se recoge más de un tipo de suelo, se deberán tomar muestras de todos los tipos extraídos y guardarlas en distintos recipientes.

**4.4** *Monitoreo del nivel de agua* – Si se encuentra agua subterránea, es aconsejable monitorear sus niveles durante y después de realizar la perforación, aun después de que se haya retirado el equipo. La profundidad del nivel freático se deberá medir y documentar durante la perforación, incluyendo posición, fecha y hora de medición. Se deben anotar, también, el método y el equipo usados para determinar la profundidad de dicho nivel. Si el nivel freático no se detecta o si es dudosa su ubicación, también se deberá dejar constancia de ello en el informe.

**4.4.1** Dada la variedad de factores que pueden afectar las lecturas del nivel freático, se debe considerar la instalación de piezómetros en casos de regímenes complejos. La interpretación y la aplicación de la información recogida sobre el nivel freático deben correr por cuenta de un especialista.

## 5 INFORME

---

**5.1** El reporte de los datos obtenidos durante la perforación deberá incluir, como mínimo, la siguiente información básica:

**5.1.1** Fechas de iniciación y terminación de la perforación.

**5.1.2** Número de identificación de la perforación y nombre del operador.

**5.1.3** Datos sobre la localización de la perforación: coordenadas y cota de inicio; ubicación con respecto a línea del proyecto, etc.

**5.1.4** Tipo y tamaño de la barrena utilizada.

**5.1.5** Profundidad de los cambios de estrato.

**5.1.6** Descripción del suelo de acuerdo a cada cambio (norma INV E–102).

**5.1.7** Profundidad del nivel freático y localización de zonas de infiltración, de ser encontradas.



- 5.1.8** Relación de las lecturas de profundidad del nivel freático, ubicación, fecha, hora, método y equipo utilizado, condiciones climáticas.
- 5.1.9** Condición de la perforación una vez retirado el equipo (cuando sea posible): paredes estables y abiertas o lo contrario, etc.
- 5.1.10** Profundidad a la cual se tomaron muestras o se realizaron ensayos in situ.
- 5.1.11** Tipos de muestras.
- 5.1.12** Ubicación de los tramos en los que fue necesario encamisar y motivo para ello.

## **6 NORMAS DE REFERENCIA**

---

ASTM D1452-09

**Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente**

# CONSERVACIÓN Y TRANSPORTE DE NÚCLEOS DE ROCA

## INV E – 113 – 13

### 1 OBJETO

---

- 1.1 Los procedimientos descritos en esta norma incluyen la conservación, el transporte, el almacenamiento, el registro, la recuperación y la disposición posterior de núcleos de roca obtenidos con fines de ensayo y estudio geológico.
- 1.2 Estos procedimientos se aplican a rocas blandas y duras, y excluyen hielo y suelos congelados permanentemente.
- 1.3 Los procedimientos no aplican a aquellas situaciones en las cuales los cambios en los volátiles del gas, la contaminación de los fluidos de los poros, o la relajación de esfuerzos mecánicos, afecten el uso previsto para el núcleo.

### 2 DEFINICIONES

---

- 2.1 Las siguientes definiciones son específicas de esta norma:
  - 2.1.1 *Cuidado crítico* – El que requieren las muestras frágiles o sensibles a la temperatura y a los fluidos. Este nivel de protección incluye los requerimientos prescritos para cuidado rutinario y especial.
  - 2.1.2 *Cuidado rutinario* – El que requieren los testigos que no son frágiles ni sensibles, para los cuales solo es necesaria la identificación visual general. También, incluye las muestras que no cambian o no se deterioran antes de ser ensayadas en laboratorio.
  - 2.1.3 *Cuidado como si fuera suelo* – El requerido por muestras tan escasamente consolidadas, que para la obtención de núcleos inalterados de roca se deben seguir los procedimientos correspondientes al muestreo de suelos.
  - 2.1.4 *Cuidado especial* – El que requieren las muestras sensibles a fluidos y aquellas que más tarde serán sometidas a ensayos de laboratorio. Los requerimientos para este nivel de protección incluyen los descritos para el cuidado rutinario (numeral 2.1.2).

### 3 IMPORTANCIA Y USO

---

- 3.1** Las características geológicas y el uso previsto para las muestras de roca, determinan el grado y el tipo de conservación requeridos. Si se van a emplear para definir las propiedades geomecánicas de la roca, los núcleos se deben manejar y preservar desde su extracción hasta los ensayos en laboratorio de tal manera, que las propiedades medidas no se alteren significativamente por daños mecánicos, cambios químicos o cambios en las condiciones ambientales de humedad y temperatura. En muchas ocasiones, el testigo se debe preservar por mayor tiempo, pues puede formar parte del estudio geológico.
- 3.2** Los procedimientos descritos en esta norma presentan una selección de requisitos de conservación que son aplicables a una gran variedad de tipos de rocas y de proyectos, tanto pequeños como grandes y críticos como no críticos. Los proyectos no críticos son aquellos en los cuales la falla de algún elemento o estructura se traduce en un riesgo insignificante de lesiones o daños a la propiedad; mientras que los críticos son aquellos donde la falla se traduce en un riesgo muy elevado para la vida y para la propiedad. La norma brinda guías para la selección de los requisitos específicos para cada tipo de proyecto.

### 4 GUÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN

---

- 4.1** Si dentro del programa de laboratorio aparece que una muestra debe ser sometida a varios ensayos, se debe seguir un orden riguroso, con el fin de priorizar aquellos que no alteren ninguna característica del material y permitan continuar con el plan.
- 4.2** Los ensayos para determinar las propiedades mecánicas de las rocas se deben realizar sobre núcleos que conserven la humedad natural (especialmente cuando las rocas son arcillosas).
- 4.3** Entre los efectos nocivos se encuentra el congelamiento del agua de los poros, pues reduce la resistencia de la roca. El almacenamiento sin ventilación y la variación fuerte de la temperatura pueden causar pérdida de la humedad y el debilitamiento de la roca, como consecuencia de la expansión y contracción térmica de los granos.
- 4.4** Un núcleo rocoso se puede partir por mala manipulación o por vibración mecánica y choques durante el transporte. La rotura de los núcleos reduce la

longitud disponible de las muestras para ensayo. Estos movimientos pueden causar, también, el debilitamiento del material antes de la ejecución de los ensayos de resistencia.

- 4.5** El almacenamiento de las muestras puede llegar a ser por tiempo indefinido.

## **5 EQUIPO**

---

- 5.1** *Cámara* – Para tomar fotografías que permitan elaborar registros gráficos.
- 5.2** *Cuarto o cámara de humedad controlada.*
- 5.3** *Cajas para el almacenamiento de núcleos* – Ver numeral 6.6.1.
- 5.4** *Lámina plástica de cloruro de vinilideno, papel de aluminio, cera plástica micro cristalina* - Para proteger y mantener el contenido de humedad de los núcleos.
- 5.5** *Tubería de polietileno tipo lay flat.*
- 5.6** *Tubos de cloruro de polivinilo (PVC).*
- 5.7** *Aserrín, caucho, poliestireno* – O un material de resiliencia similar, para amortiguar el núcleo.
- 5.8** *Insumos adicionales* – Como cinta adhesiva y marcadores a prueba de agua con punta de fieltro.

## **6 REQUISITOS Y PROCEDIMIENTOS EN EL SITIO DE LA PERFORACIÓN**

---

- 6.1** *Recuperación de la muestra:*
- 6.1.1** La muestra se deberá recuperar de acuerdo con la norma INV E-108 o la norma API RP-40.
- 6.1.2** Cualquiera sea el método de muestreo utilizado, el núcleo se deberá remover del tubo tomamuestras con un mínimo de alteración.

## 6.2 Manejo:

- 6.2.1 Cada perforación debe ser supervisada de manera permanente por un inspector.
- 6.2.2 De ser posible, se debe marcar la orientación de cada pieza (arriba-abajo) sobre la misma, con un marcador indeleble. La convención utilizada se debe consignar en el libro de registro de la perforación. Igualmente, se puede escribir la profundidad a la que corresponde dicho núcleo.

## 6.3 Fotografía de núcleos:

- 6.3.1 Las fotografías de los núcleos se toman con una cámara de formato mínimo de 35 mm y a color, con el fin de que quede registrada la apariencia de la roca inalterada. Los testigos se deben limpiar antes de tomarles cualquier fotografía.
- 6.3.2 Se debe incluir en el álbum fotográfico una banda de papel con un catálogo gráfico de colores (disponible en el comercio), que sirva como referencia para verificar la precisión de los colores de los núcleos de roca en la reproducción fotográfica.
- 6.3.3 Cuando la roca sea colocada en cajas para núcleos, se tomará una foto de cada caja una vez esté completa. Dentro de la foto se debe incluir el interior de la tapa de la caja con los datos de identificación correspondientes y una escala longitudinal claramente visible, colocada cerca de uno de los bordes largos de la caja, de tal manera que aparezca en la foto.
- 6.3.4 Para fotografiar núcleos intactos muy largos, preservados en tubos plásticos individuales, se toma una foto general en la que se enfoque la muestra completa y, adicionalmente, se toman fotografías de primer plano de cada intervalo del núcleo.
- 6.3.5 Las fotografías se deben tomar a las muestras recién extraídas, antes de que sufran cualquier alteración o de que sean recubiertas con sellantes y/o protectores.
- 6.3.6 En el caso de núcleos empacados que no sean muy sensibles, los cuales no son afectados cuando son mantenidos en un ambiente húmedo, se recomienda tomar dos fotos: una del núcleo en condición de superficie

seca y la otra del núcleo en condición húmeda, para poder definir propiedades ópticas que, de otra manera, no serían reveladas.

- 6.3.7** Este procedimiento puede requerir la toma de fotografías tanto en el campo como en el sitio de almacenamiento y debe ser llevado a cabo antes de que las muestras sean retiradas para ensayo o dañadas por mal manejo.
- 6.3.8** Cuando en la foto no aparezca la identificación de la muestra marcada directamente sobre ella o en la caja, se debe adjuntar a la foto un cartel con los datos de identificación correspondientes.
- 6.3.9** Las fotografías se deben organizar en álbumes de fácil acceso y conservación.

#### **6.4** *Registro inicial:*

- 6.4.1** El inspector de perforación debe llenar, al menos, un registro preliminar del núcleo en el campo, antes de que éste sea empacado para ser transportado. El registro preliminar debe incluir los datos de identificación de la perforación, el personal y el equipo involucrados, la profundidad de cada extracción de testigos, los porcentajes de recuperación, la profundidad de los contactos litológicos, el tipo y la ubicación de la protección aplicada sobre las muestras y demás datos relevantes. Además, se deben anotar las profundidades a las cuales se registraron porcentajes nulos de recuperación. A veces, es posible llenar los vacíos que queden en el registro inicial, a partir de la interpretación de los registros del conjunto.
- 6.4.2** Se debe realizar un registro pormenorizado, completo y detallado en el sitio de la perforación, cuando la muestra corra el riesgo de daño o alteración antes de ser examinada nuevamente.
- 6.4.3** Para núcleos frágiles que deben ser envueltos y sellados inmediatamente, el registro inicial se hace en el campo sin obstaculizar el proceso de conservación de la muestra.

*Nota 1: Se permite hacer cambios en los registros, cuando los análisis de laboratorio demuestran errores en la identificación inicial del tipo de roca u otras características geológicas.*

## 6.5 *Protección de las muestras:*

**6.5.1** Existen cuatro niveles de protección (Ver Sección 2): cuidado rutinario, cuidado especial, cuidado crítico y cuidado como suelo. El nivel de protección escogido dependerá de las características geológicas de la roca y del destino del núcleo.

### **6.5.1.1** *Cuidado rutinario:*

**6.5.1.1.1** Para corridas de núcleos rocosos de 1.5 a 3 m (5 a 10 pies), las muestras quedan suficientemente protegidas si se colocan en cajas estructuralmente fuertes. Se recomienda colocar el núcleo de roca dentro de una manga de polietileno suelta (tubo tipo *lay flat*), antes de acomodarlo en la caja (Figura 113 - 1).

**6.5.1.1.2** Cuando se recuperan núcleos muy largos, se coloca cada muestra en un tubo de PVC con diámetro y longitud ligeramente superiores. El tubo se debe asegurar en ambos extremos, para evitar el deslizamiento del material. El tubo debe tener rigidez suficiente para prevenir la rotura de la muestra debido a una posible flexión.

### **6.5.1.2** *Cuidado especial:*

**6.5.1.2.1** Si cualquier cambio en la humedad natural de la muestra genera una gran alteración de sus propiedades, el núcleo se debe sellar para prevenir estos cambios hasta el momento del ensayo. Se debe proceder de igual manera cuando resulte muy importante mantener el contenido de fluidos diferentes del agua como, por ejemplo, hidrocarburos.

**6.5.1.2.2** Sellar las muestras requiere especial cuidado. El sello consiste en una envoltura hermética con una película de plástico, tal como cloruro de vinilideno. Sobre ésta, se coloca otra envoltura de papel de aluminio ajustada (nota 2). Debe quedar la menor cantidad de aire atrapada entre estas envolturas.



Los extremos de las dos envolturas se traslapan sobre los extremos de la muestra y se doblan para sellarla totalmente. Finalmente, se aplican al menos dos capas de cera con una brocha o se sumerge la muestra en cera fundida (nota 3). El espesor de esta capa debe ser de, al menos, 3 mm (1/8") o, para períodos largos de almacenamiento, de 6 mm (¼").

*Nota 2: En los casos en que el papel aluminio pueda reaccionar químicamente con la roca o con sus fluidos, se deberá emplear un tipo de envoltura metálica que no sea reactiva. Un método que resulta menos preferible es eliminar esta protección y aumentar el espesor de la capa de cera. Si, en definitiva, no se emplea la protección metálica, el espesor de la capa de cera debe ser al menos de 6 mm (¼") para períodos cortos de almacenamiento (de una semana a pocos meses), o de 9 mm (3/8") si el almacenamiento va a ser más largo.*

*Nota 3: Es importante el uso de la cera plástica microcristalina, ya que ella no se vuelve quebradiza. Las ceras microcristalina corrientes son frágiles y susceptibles al agrietamiento, lo que las limita severamente como sellantes.*

**6.5.1.2.3** El uso de mangueras de polietileno del tipo lay flat es menos efectivo para conservar la humedad de la muestra. Este método se recomienda solo en casos en los cuales la pérdida de humedad puede ser tolerada sin que se afecten de manera significativa las propiedades físicas y mecánicas pertinentes de las muestras. El espesor mínimo del plástico de la manguera debe ser de 0.13 mm (0.005"). Una vez introducida la muestra, cada extremo del empaque se dobla al menos dos veces para que quede ajustado y luego se asegura con cinta adhesiva. Posteriormente, se verifica la calidad del sellado, por ejemplo, apretando el tubo sellado y observando si el aire se escapa con facilidad. La efectividad de esta barrera se puede mejorar envolviendo ajustadamente el núcleo con una lámina plástica de cloruro de vinilideno, antes de colocarla dentro del tubo de polietileno. Aún con la colocación de este plástico extra, la barrera contra la humedad no es tan efectiva como la que brinda el conjunto cera – hoja metálica mencionado en el numeral 6.5.1.2.2.

**6.5.1.3** *Cuidado crítico:*

**6.5.1.3.1** Cuando durante el transporte la muestra se vea expuesta a choques, vibraciones o variaciones de temperatura que puedan afectar su integridad y estado natural, es necesario emplear cajas de testigos que provean aislamiento y/o amortiguación.

**6.5.1.3.2** Para proteger las muestras contra choques o vibraciones, se debe colocar cada muestra entre material aislante tal como aserrín, caucho, poliestireno, espuma, etc. El espesor mínimo de esta protección será de 25 mm (1") en las paredes de la caja y de 50 mm (2") en el fondo y la tapa. Las muestras deben encajar perfectamente en el espacio dispuesto para ellas.

**6.5.1.3.3** El aislamiento térmico de las muestras sensibles a la temperatura se hace colocando el recipiente que contiene la muestra (la caja o el tubo) dentro de otra caja especialmente diseñada para proporcionar aislamiento térmico. Estos contenedores especiales son construidos con dos o tres capas de material aislante y, generalmente, son herméticos.

**6.5.1.3.4** Las muestras sensibles a la alteración mecánica, al contenido de fluidos y a los cambios de temperatura, se deben sellar de acuerdo con lo indicado en el numeral 6.5.1.2.2.

**6.5.1.4** *Cuidado como suelo:*

**6.5.1.4.1** Estos materiales se deben tratar como se indica en la norma INV E-103.

**6.5.1.5** Mientras llega el momento de transportar las muestras al sitio de almacenamiento, éstas se deben mantener en un espacio cubierto que las proteja de la luz y de los rayos directos del sol, así como de temperaturas de congelamiento.

**6.6 Preparación de los recipientes para transporte y almacenamiento:**

- 6.6.1** Las cajas de los testigos deben poseer la suficiente rigidez para evitar la flexión de las muestras cuando la caja sea levantada por sus extremos. Es preferible que sean de madera, de  $\frac{1}{2}$ " a  $\frac{3}{4}$ " de espesor (13 a 19 mm). Las divisiones longitudinales que conforman las canales deberán estar firmemente sujetas a la caja para incrementar su rigidez. La tapa debe tener bisagras fuertes y contar con aldabas o tornillos de cierre (Figura 113 - 1). No se deben clavar puntillas en la tapa.
- 6.6.2** Se debe colocar material de empaque dentro de la caja, tanto para soportar el núcleo como para prevenir que se bambolee dentro de ella.
- 6.6.3** Las muestras se colocan suavemente dentro de la caja, comenzando por la más superficial en la esquina superior izquierda (más cerca de las bisagras de la tapa) y progresivamente hacia abajo, hasta acomodar la muestra de mayor profundidad en la esquina inferior derecha.



Figura 113 - 1. Caja de madera para el almacenamiento de núcleos de roca

- 6.6.4** Al final de cada tramo de núcleo se deben colocar bloques para sostenerlo.
- 6.6.5** Cuando un tramo de perforación con menos de 100 % de recuperación produce un núcleo demasiado corto para llenar su respectivo canal, se debe asegurar el testigo recuperado y prevenir su dispersión, colocando bloques espaciadores tales como piezas de madera o tubos de cartón de la longitud del núcleo que hace falta.

- 6.6.6** No se deben romper intencionalmente los núcleos con el fin de llenar la caja. En caso de ser absolutamente necesario, ello deberá quedar consignado en el registro escrito.
- 6.6.7** Empleando un marcador indeleble, se escriben las profundidades de la parte superior e inferior de la longitud del núcleo en la caja, cerca de los extremos de los núcleos, en las esquinas correspondientes de la caja. Las profundidades intermedias que sean conocidas con precisión, también deben ser marcadas.
- 6.6.8** Se marcan la parte superior y uno de los bordes de la caja con la siguiente información, antes del transporte:
- 6.6.8.1** Compañía y nombre del proyecto.
  - 6.6.8.2** Número del sondeo o localización del mismo.
  - 6.6.8.3** Número de la caja de muestras, siguiendo la secuencia de la perforación (comenzando desde la superficie).
- 6.6.9** Puede ser importante anotar en la caja la siguiente información adicional:
- 6.6.9.1** Porcentaje de recuperación.
  - 6.6.9.2** RQD, designación de la calidad de la roca.
- 6.6.10** Los tubos se deben marcar con la misma información que las cajas. Estos tubos deben tener la rigidez suficiente para evitar fracturas de las muestras por flexión de ellos. De igual manera, las muestras se deben proteger contra los golpes, envolviendo los tubos con un material capaz de absorber adecuadamente los impactos.

## **7 REQUISITOS Y PROCEDIMIENTOS PARA EL TRANSPORTE**

---

- 7.1** Las siguientes recomendaciones se deben seguir para transportar muestras de roca de un lugar a otro, con el objeto de evitar su deterioro:
- 7.1.1** Retirar las muestras del sitio de perforación antes de que sufran cualquier clase de daño o alteración.

- 7.1.2** El manejo del material debe ser cuidadoso durante la carga y la descarga. Las cajas o los tubos no se pueden golpear o dejar caer al piso. En caso de que ello ocurra, se debe registrar la caída o golpe por escrito.
- 7.1.2.1** Durante el transporte, cargue y descargue, es importante supervisar el manejo y el almacenamiento. Sería aconsejable tener un registro de cualquier inconveniente.
- 7.1.3** Se debe escoger un vehículo apropiado con el fin de evitar golpes, vibraciones o cambios de temperatura durante el transporte.
- 7.1.3.1** Si el terreno es destapado, es aconsejable emplear vehículos de doble tracción y proteger las muestras catalogadas como de cuidado crítico (Ver numeral 6.5.1.3), brindando el amortiguamiento adecuado.
- 7.1.3.2** Es recomendable que el transporte de muestras frágiles se realice en carros de pasajeros, en lugar de camiones o camionetas de reparto.
- 7.1.4** Para transportar muestras sensibles a cambios de temperatura, es muy conveniente conseguir recipientes con aislamiento térmico (Ver numeral 6.5.1.3.3).

## **8 REQUISITOS Y PROCEDIMIENTOS PARA LA CLASIFICACIÓN Y EL ALMACENAMIENTO**

---

- 8.1** *Clasificación* – A cada muestra se le debe asignar un número único de identificación en el inventario. Los números de identificación deben estar relacionados fácilmente con el número del sondeo y el intervalo de profundidades al cual pertenece la muestra. Puede ser útil incluir los números de las corridas de perforación y los números de las cajas en el catálogo de clasificación, así como sub-clasificaciones que puedan resultar de utilidad para proyectos de gran magnitud.
- 8.1.1** *Identificación del espécimen* – Las muestras se pueden retirar del sitio de almacenamiento para someterlas a diferentes ensayos y análisis. La preparación del material para estos ensayos requiere, generalmente, que la muestra original sea cortada y a veces marcada. El material tomado para análisis debe tener un número de identificación

fácilmente correlacionable con el número de la perforación y la profundidad respectiva. Dicha profundidad corresponde, bien al punto medio del espécimen, o a las profundidades superior o inferior de la muestra, según la manera como lo exija el programa de ensayos. Con frecuencia, es conveniente identificar las muestras con letras o con números que indiquen el tipo de ensayos para los cuales están destinadas. Las piezas finales que sobran después de los cortes deberán ser puestas nuevamente en su sitio dentro de la caja. Para mantener las muestras en orden, se colocan espaciadores en los lugares que ocupaban los testigos extraídos.

**8.2** *Almacenamiento* – Los núcleos se deben almacenar en un lugar del que sea fácil extraerlos y en el que no se alteren sus propiedades.

**8.2.1** *Estanterías para almacenamiento* – Las cajas de muestras se colocan sobre estructuras que les brinden soporte en toda su longitud. Para reducir el daño debido al manejo de núcleos en las categorías de cuidado crítico o cuidado como si fuese suelo, no se coloca más de una capa de cajas por entrepaño. El entrepaño más bajo del estante debe estar ligeramente elevado del piso, para permitir la circulación de aire, controlar la temperatura y como precaución ante la posible presencia de agua en el lugar.

**8.2.2** *Control de temperatura* – Se debe realizar para prevenir, entre otros, el congelamiento de la muestra debido a cantidades significativas de agua; para evitar cambios químicos indeseables, tales como la deshidratación de ciertos minerales. El control debe ser aun más estricto para prevenir cambios importantes de temperatura que puedan generar el bombeo de líquidos de la muestra.

## 9 REQUISITOS Y PROCEDIMIENTOS PARA LA PREPARACIÓN DE LOS ESPECÍMENES DE LABORATORIO

---

**9.1** Las muestras que van a ser ensayadas o analizadas se deben retirar cuidadosamente del sitio de almacenamiento, con el objeto de preservar su integridad y su contenido de fluidos.

**9.1.1** *Preparación del espécimen* – Las técnicas de preparación deben ser seleccionadas cuidadosamente, para evitar la alteración de la muestra. La escogencia de los líquidos empleados por las máquinas que se usan para cortar, extraer testigos o moler el material debe ser cuidadosa.

Por ejemplo, el agua disuelve la halita y hace que algunas pizarras se expandan o se disgreguen. Las muestras sensibles al agua se pueden preparar con enfriamiento con aire, si el material es lo suficientemente blando para que no aparezcan puntos calientes durante la operación. Si se usan aceites de corte, se deben remover rápidamente del núcleo usando un solvente, ya que esta sustancia puede alterar ciertas propiedades de algunos tipos de roca. Las muestras de materiales sensibles a cambios de humedad se deben sellar entre las etapas de preparación, si transcurren más de 30 minutos entre una y otra etapa. Puede ser necesario, en algunos casos, un cuarto húmedo o una cámara de humedad controlada. Las muestras que habían sido selladas durante el inventario se deben sellar nuevamente después de su preparación, hasta el instante en que se vayan a someter a ensayo, salvo que éste se realice en los 30 minutos siguientes a la preparación.

## **10 REQUISITOS Y PROCEDIMIENTOS PARA LA DISPOSICIÓN DE MUESTRAS DESPUÉS DEL ENSAYO**

---

- 10.1** Los requisitos y procedimientos para la disposición de los especímenes una vez que han sido ensayados, varían con la naturaleza del proyecto y con el tiempo durante el cual debe ser preservado el material. Es posible que las muestras se necesiten nuevamente para verificaciones posteriores de diseño o en litigios.
- 10.2** Los ensayos llevados a cabo pueden ser destructivos o no destructivos. Los fragmentos resultantes de los ensayos destructivos se deben re-ensamblar y colocar en una bolsa plástica con el material fino. Se debe marcar la bolsa con la identificación de la muestra (número del sondeo y profundidad). También, se deben introducir en bolsas los testigos de ensayos no destructivos, con su identificación correspondiente.
- 10.3** Si el material no es sensible a la humedad y se desea tener fácil acceso a los testigos ya ensayados, se colocan las bolsas marcadas dentro de una caja de muestras que tenga los siguientes datos en la inscripción:
- 10.3.1** Nombre de la compañía y del proyecto.
  - 10.3.2** Número del sondeo o localización.
  - 10.3.3** Tipos de ensayos efectuados sobre los especímenes.
  - 10.3.4** Nombre de la persona responsable.

**10.3.5** Fecha en que fueron guardados nuevamente.

- 10.4** Para especímenes de ensayo sensibles a la humedad, sobre los cuales se quiera tener fácil acceso posterior, aplican las recomendaciones del numeral 10.3, excepto que la muestra debe ser sellada apropiadamente para protegerla del ambiente atmosférico. El sellado debe ser tan estricto como lo es para la conservación inicial, según lo descrito en el numeral 6.5.
- 10.5** Las condiciones de almacenamiento para las cajas de muestras ya ensayadas (numerales 10.3 y 10.4), son las mismas que para muestras originales (numeral 8.2).
- 10.6** Si no se requiere acceder fácilmente a todas las muestras ya ensayadas, se devuelve el material a su ubicación original dentro de las cajas o los tubos PVC y se sella nuevamente de manera apropiada.

## **11 REGISTROS**

---

- 11.1** Se debe llevar un registro permanente del muestreo de cada sondeo. El registro debe contener:
- 11.1.1** Nombres de la compañía y del proyecto.
  - 11.1.2** Número de la perforación y ubicación.
  - 11.1.3** Orientación de la perforación.
  - 11.1.4** Elevación del collar del pozo de perforación, el cojinete Kelly u otro plano de referencia.
  - 11.1.5** Fecha de la extracción de las muestras.
  - 11.1.6** Números de los tubos de PVC o de las cajas de muestras e intervalos de profundidades contenidos en cada uno.
  - 11.1.7** Fecha y nombre de la persona que hizo el registro inicial.
  - 11.1.8** Registro geológico o referencia sobre su ubicación.
  - 11.1.9** Fotografías de las muestras o referencia sobre su ubicación.



**11.2** Otros registros requeridos en algunos proyectos, incluyen:

- 11.2.1** Cada fecha de transporte, origen y destino, el modo de transporte y el nombre de la persona responsable.
- 11.2.2** Ubicación del almacenamiento y fuente de los datos de temperatura y humedad relativa.
- 11.2.3** Fecha y nombre de la persona que retiró del almacenamiento las muestras para ensayo, incluida una lista de las longitudes de muestra retiradas y sus profundidades respectivas.
- 11.2.4** Nombre y ubicación del laboratorio de ensayo, tipos de ensayos y nombre de la persona responsable.
- 11.2.5** Disposición posterior al ensayo, incluyendo fecha, nombre de la persona responsable y ubicación de los especímenes ya ensayados, si éstos no volvieron a su sitio original.
- 11.2.6** Fecha y naturaleza de cualquier otra actividad que incluya las muestras, como manejo, inspección o ensayos adicionales.

**12 NORMAS DE REFERENCIA**

---

ASTM D 5079–08

**Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente**

# DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE CAMBIO VOLUMÉTRICO DE UN SUELO EMPLEANDO EL APARATO DE LAMBE

INV E – 120 – 13

## 1 OBJETO

---

- 1.1 Esta norma describe un método para la identificación rápida de suelos que puedan presentar problemas de cambio de volumen, como consecuencia de variaciones en su contenido de humedad.
- 1.2 A los efectos de esta norma, el cambio volumétrico potencial (CVP) de un suelo queda comprendido dentro de uno de los cuatro grupos siguientes: No crítico, Marginal, Crítico y Muy crítico. La pertenencia a uno u otro grupo se deduce del Índice de Expansión, que se define como la presión necesaria para reducir la expansión de la muestra a un valor muy pequeño. La magnitud de esta presión y las condiciones iniciales de humedad del suelo ensayado permiten determinar CVP (Figura 120 - 1).
- 1.3 Esta norma reemplaza la norma INV E–120–07.

## 2 RESUMEN DEL MÉTODO

---

- 2.1 El método consiste en valorar la presión de expansión que experimenta una probeta de suelo compactado en unas condiciones de humedad establecidas, al ser sometida a inmersión en el aparato medidor de Lambe.

## 3 IMPORTANCIA Y USO

---

- 3.1 Los suelos finos, en especial los cohesivos, se expanden o se contraen a medida que pasan del estado seco al húmedo o viceversa. Esta alteración de humedad puede producir cambios volumétricos que crean movimientos diferenciales de importancia en las estructuras, ocasionando graves agrietamientos en pavimentos, pisos, muros y cimentaciones.
- 3.2 Los suelos con características expansivas deben ser reconocidos oportunamente, con el fin de evaluar apropiadamente su estabilidad como material de fundación. El cambio volumétrico máximo que puede sufrir un

suelo debido a contracción o expansión no puede ser estimado con exactitud a partir de una inspección visual. Por esta razón, se requiere disponer de un dispositivo simple que suministre una identificación rápida del potencial de expansión de los suelos finos.

## 4 EQUIPO Y MATERIALES

---

**4.1** *Aparato de Lambe* – El aparato Lambe para medir el índice de expansión (Figura 120 - 2) está constituido por los siguientes elementos:

**4.1.1** *Marco metálico y base* – El marco metálico y la base deben ser resistentes, sólidos y capaces de soportar los esfuerzos producidos durante el ensayo, sin deformaciones apreciables. El marco metálico debe disponer de elementos para fijar el anillo dinamométrico.

**4.1.2** *Célula* – En la que la muestra de ensayo queda confinada y cubierta de agua. Debe disponer de una carcasa de cierre. Debe estar constituida por:

**4.1.2.1** *Un anillo porta-probeta* – En el que se aloje la probeta de suelo a ensayar, con un espesor que asegure que no se producen aumentos de diámetro apreciables bajo el efecto de las presiones que se generen durante el ensayo. Las dimensiones de la superficie cilíndrica interna deben de ser tales, que la probeta, una vez compactada, tenga 70 mm de diámetro y 16 mm de altura.

**4.1.2.2** *Un anillo guía* – De igual diámetro interior y espesor que el anillo porta-probeta y con una altura aproximada de 17 mm.

*Nota 1: Tanto el anillo porta-probeta como el anillo guía, deben disponer en el borde de un encaje para que se asegure un buen ajuste entre ellos.*

**4.1.2.3** *Dos placas porosas* – Pueden ser de material abrasivo o metálicas resistentes a la corrosión, debiendo, en cualquier caso, permitir el paso libre del agua y tener un tamaño de poro que evite la intrusión de partículas de suelo. La placa inferior debe tener un diámetro mayor que el interior del anillo porta-probeta. La placa superior debe tener un diámetro menor que el interior del anillo, en un valor comprendido entre 0.2 mm y 0.5 mm. Esta placa puede

adoptar una forma troncocónica para evitar posibles acodamientos. En este caso, la base mayor debe quedar en contacto con la probeta. La relación entre los diámetros de las bases superior e inferior debe estar comprendida entre 0.97 y 1.0.

**4.1.2.4** *Un pistón de carga* – Con la rigidez adecuada para que no experimente deformaciones apreciables durante el ensayo.

**4.1.3** *Anillo dinamométrico* – El anillo dinamométrico debe tener una rigidez tal, que se produzca una milésima de milímetro de deformación bajo una fuerza de  $10 \pm 1$  N. Debe ir sólidamente unido al puente superior del marco metálico y disponer, en la posición diametralmente opuesta, de un pistón de longitud variable con una tuerca de bloqueo en la posición deseada.

**4.2** *Martillo de compactación* – El empleado en el ensayo normal de compactación, descrito en la norma INV E – 141.

**4.3** *Horno* – Con circulación de aire frío o caliente, con temperatura regulable hasta 60° C.

**4.4** *Tamiz* – De 2.0 mm de abertura (No. 10).

**4.5** *Equipo auxiliar* – Cronómetro, regla metálica de borde recto y afilado para enrasar, cuchara, brocha de pelo suave, cuchillo o navaja, mazo de caucho para desmenuzar la muestra.

## 5 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

---

**5.1** La muestra de suelo se seca al aire, en el horno, o por medio de secadores de aire frío o caliente, pero siempre a menos de 60° C, hasta que se pueda deshacer por medio del mazo de caucho.

**5.2** Una vez seca, la muestra se cuartea hasta obtener dos porciones, cada una de 1 kg, aproximadamente. Una de ellas, se tamiza por el tamiz de 2.00 mm (No. 10). El ensayo se realiza con la fracción que pasa por dicho tamiz, preparada con uno de los contenidos de humedad que se indican a continuación: (1) el correspondiente al límite plástico, estado que se denomina “*en el límite plástico*”; (2) el que resulte de mantener la fracción de la muestra de suelo durante 48 horas en un ambiente con una humedad relativa del 100 %, estado

que se denomina “húmedo” (nota 2); y (3) el que resulte de mantener la fracción de la muestra de suelo durante 48 h en un ambiente con una humedad relativa del 50 %, estado que se denomina “seco” (Nota 2).

*Nota 2: Con el fin de asegurar la homogeneidad de la humedad de la fracción de muestra, se recomienda extenderla con la mayor superficie posible y removerla periódicamente.*

## 6 PROCEDIMIENTO

### 6.1 Compactación del suelo. Obtención de la probeta:

**6.1.1** El número de capas y el de golpes por capa con que se ha de compactar el suelo, dependen de las condiciones de humedad en que se haya preparado, de acuerdo con lo indicado en el numeral 5.2. En la Tabla 120 - 1 se indican los valores correspondientes a cada caso:

Tabla 120 - 1. Alternativas de compactación de la probeta

Humedad	Número de capas	Número de golpes por capa
Límite plástico	1	5
Húmedo (100 % de humedad relativa)	3	4
Seco (50 % de humedad relativa)	3	7 para las dos primeras capas y 8 para la última

**6.1.2** Se coloca el anillo porta-probeta sobre la base, y sobre éste, el anillo guía. Se sitúa el conjunto sobre un soporte de gran solidez para evitar amortiguamientos. Según las condiciones en que se haya preparado el suelo, se debe proceder como se indica a continuación:

**6.1.2.1** Si se ha preparado con las condiciones de humedad correspondientes al límite plástico, se coloca el suelo dentro de los anillos y con el martillo de compactación se presiona uniformemente por toda su superficie, hasta que ésta quede plana y unos 3 mm por debajo de la cara superior del anillo guía. Seguidamente se dan cinco golpes repartidos por dicha superficie, cambiando la posición del martillo después de cada golpe.

**6.1.2.2** Si se ha preparado con las condiciones de humedad correspondientes a los estados que se han denominado

húmedo y seco, se vierte en el interior del conjunto la cantidad de suelo necesaria para que, una vez finalizada la compactación, la altura de la capa sea ligeramente superior a un tercio de la altura del anillo. Se presiona seguidamente con el martillo de compactación de manera uniforme, para distribuir bien el suelo. A continuación, se aplican los golpes que correspondan según el caso, repartiéndolos uniformemente por toda la superficie. Antes de colocar la siguiente capa, la capa recién compactada se debe escarificar con un objeto punzante en una profundidad comprendida entre 1 y 2 mm, para facilitar la unión entre ambas.

- 6.1.3** En cualquiera de los casos, al finalizar la compactación, la superficie de la probeta debe quedar entre 3 y 6 mm por encima del plano de separación de los dos anillos. Si esto no se consigue, se debe repetir el proceso, aumentando o disminuyendo la cantidad de suelo a compactar en cada capa.
- 6.1.4** Finalizada la compactación, se sueltan los elementos de fijación, se gira ligeramente el anillo guía para facilitar su separación y se retira.
- 6.1.5** Empleando la regla metálica, se enrasa el suelo al nivel de la cara superior del anillo porta-probeta, empezando por los bordes y avanzando hacia el centro, hasta que se consiga una superficie plana. Si en este proceso queda alguna pequeña cavidad, se rellena con suelo procedente del enrasado, tomando las precauciones necesarias para que no se altere el resto de la probeta. Seguidamente, se gira con suavidad el anillo porta-probeta para despegarlo de la base y se retira de la misma (nota 3).

*Nota 3: Si al realizar esta operación se desprende parte del material, se debe interrumpir el proceso y volver a compactar con suelo preparado en algunos de los estados cuyo contenido en humedad sea superior al anterior.*

- 6.1.6** Se eliminan los restos de suelo que hayan podido quedar en la base, si la compactación se ha efectuado directamente sobre ésta.

## **6.2** *Montaje del equipo:*

- 6.2.1** Se coloca la placa porosa inferior sobre la base del equipo y sobre ésta el anillo porta-probeta, asegurando un buen contacto entre dichos elementos. A continuación, se sitúa el anillo guía encima del anillo

porta-probeta, quedando asegurado el ajuste por medio del encaje que ambos disponen.

- 6.2.2** Se fija el conjunto mediante los tornillos correspondientes y se colocan sobre la probeta la placa porosa y el pistón de carga.
- 6.2.3** Se coloca en su posición el puente superior del marco metálico con el anillo dinamométrico y se fija a las columnas por medio de las tuercas correspondientes.
- 6.2.4** Se coloca la carga de fijación, ajustando el vástago del anillo sobre la superficie del pistón de carga, hasta que se consiga una lectura del medidor de deformaciones equivalente a 40 N (4.1 kgf). A continuación se fija la contratuerca de que va provisto el vástago, de manera que quede sin juego y se comprueba que la lectura del medidor de deformaciones sigue siendo la correspondiente a 40 N (4.1 kgf).

### 6.3 *Ejecución del ensayo*

- 6.3.1** Se añade agua, llenando la célula hasta que el nivel de aquella sobrepase ligeramente la cara superior del anillo guía e inmediatamente se pone en funcionamiento el cronómetro. Transcurridas 2 horas, se toma la lectura del anillo dinamométrico y con ella se determina el valor de la fuerza correspondiente en Newton.

## 7 CÁLCULOS

---

- 7.1** Los resultados del índice de expansión y del cambio volumétrico potencial se obtienen y se expresan de la siguiente manera:
  - 7.1.1** *Índice de expansión* – Es el cociente entre el valor de la fuerza calculada en el numeral 6.3.1, expresada en N, y la sección transversal de la probeta, expresada en mm<sup>2</sup>. El índice de hinchamiento se expresa en MPa (1 MPa = 1 N/mm<sup>2</sup>).
  - 7.1.2** *Cambio volumétrico potencial (CVP)* – Se ubica el valor del índice de expansión, en las ordenadas del gráfico de la Figura 120 - 1 y, a partir de él, se traza una horizontal hasta cortar la curva correspondiente a las condiciones iniciales de humedad del suelo ensayado. El punto de corte se proyecta en las abscisas, donde se determina si el cambio



volumétrico potencial (CVP) es No crítico, Marginal, Crítico o Muy Crítico.

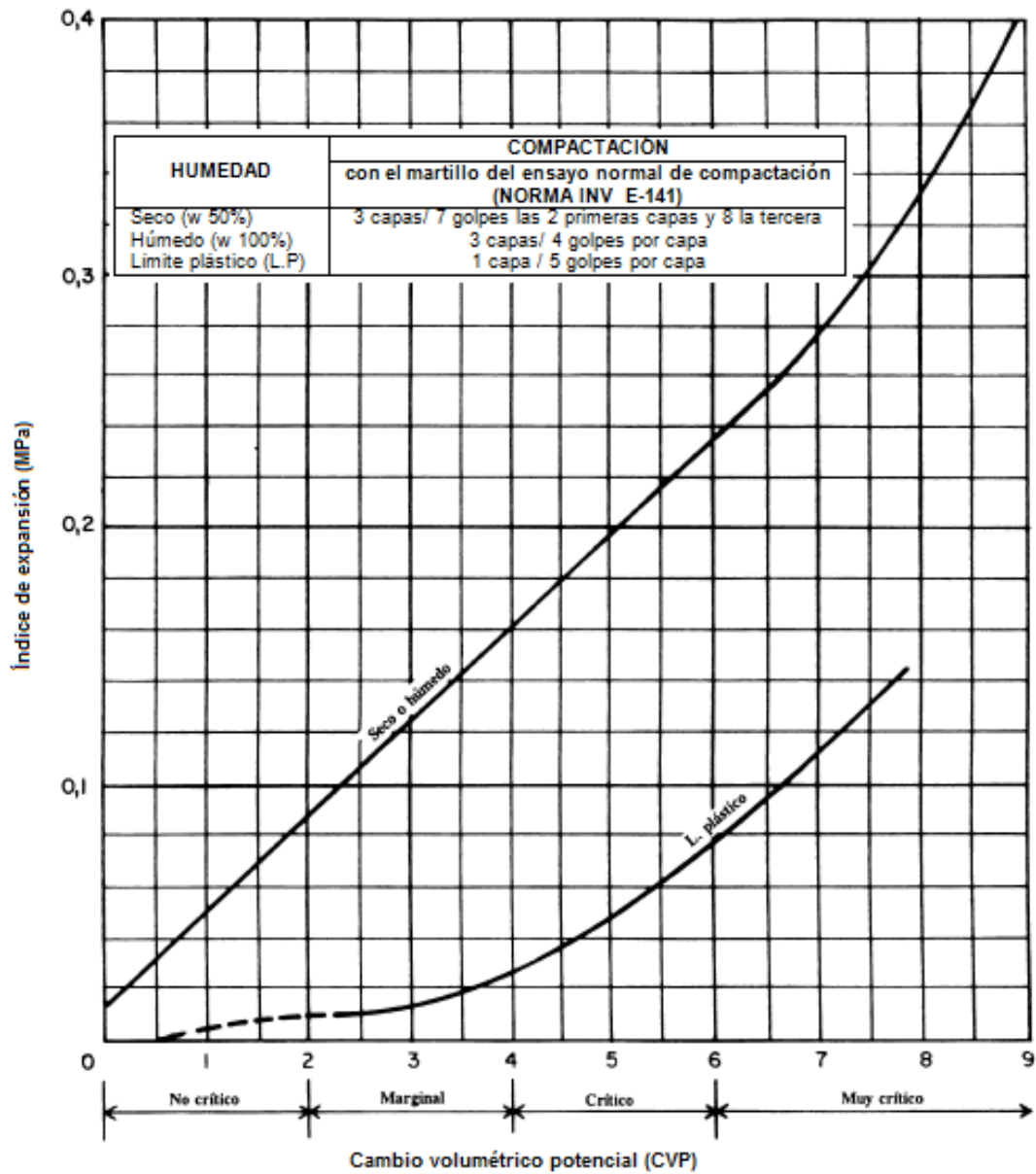


Figura 120 - 1. Índice de expansión vs. Cambio Volumétrico Potencial (CVP)

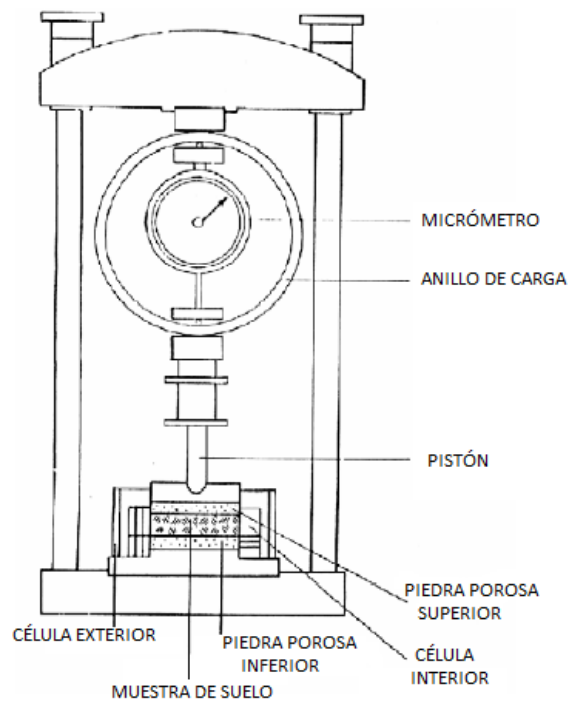


Figura 120 - 2. Aparato de Lambe

## 8 INFORME

8.1 Debe contener, como mínimo, la siguiente información:

- 8.1.1 Procedencia e identificación de la muestra.
- 8.1.2 Contenido de humedad utilizado para la compactación de la muestra y motivo para elegirlo.
- 8.1.3 Índice de expansión.
- 8.1.4 Cambio volumétrico potencial.

## 9 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

T. WILLIAM LAMBE, "The Character and Identification of Expansive Soils", Soil PVC Meter, A Technical Studies Report F.H.A.-701, Federal Housing Administration, Washington 25 D.C., May, 1960

G.F. HENRY & M.C. DRAGOO, "Guide of the use of the FHA soil PVC meter" F.H.A.-595, Federal Housing Administration, Washington 25 D.C., January, 1965

UNE 103 600, Mayo 1996

**Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente**

# DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ORGÁNICO DE UN SUELO MEDIANTE EL ENSAYO DE PÉRDIDA POR IGNICIÓN

INV E – 121 – 13

## 1 OBJETO

---

- 1.1** El método de "pérdida por ignición" para la determinación del contenido orgánico es más aplicable a aquellos materiales identificados como turbas, lodos orgánicos y suelos que contengan materia vegetal relativamente no descompuesta ni deteriorada o materiales de plantas frescas como madera, raíces, pasto o materiales carboníferos como el lignito, carbón, etc. Este método determina la oxidación cuantitativa de materia orgánica en tales materiales y proporciona una estimación válida del contenido orgánico. El método de la "combustión húmeda" (norma AASHTO T194) se recomienda cuando se desea determinar el material orgánico fácilmente oxidable (del tipo humus), para proveer información relacionada con la aptitud de un suelo para cultivo.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E–121–07.

## 2 EQUIPO

---

- 2.1** *Horno* – Que pueda mantener una temperatura de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ \text{F}$ ). Cuando se seca material liviano, puede ser necesario utilizar un horno de gravedad en lugar de uno de convección.
- 2.2** *Balanza* – De 1200 g de capacidad, con una sensibilidad de 0.01 g.
- 2.3** *Mufla* – Que pueda mantener continuamente una temperatura de  $445 \pm 10^\circ \text{C}$  ( $833 \pm 18^\circ \text{F}$ ), y que tenga una cámara de combustión donde se puedan acomodar el recipiente y la muestra de ensayo. El registro del pirómetro deberá indicar la temperatura mientras se halle en uso.
- 2.4** *Crisoles o platos de evaporación* – Crisoles de pedernal, de aleaciones de aluminio, de porcelana o níquel, de 30 a 50 ml de capacidad, o platos de evaporación de porcelana, de 100 mm de diámetro superior.
- 2.5** *Desecador* – De tamaño adecuado, con un desecante efectivo.

**2.6** *Recipientes* – Metálicos a prueba de moho, de porcelana, de vidrio o recubiertos de plástico.

**2.7** *Elementos accesorios* – Guantes de asbesto, pinzas, espátulas, etc.

### 3 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

---

**3.1** De una porción del material que pase el tamiz de 2.00 mm (No. 10), la cual haya sido obtenida de acuerdo con la norma INV E-106, se toma una muestra representativa con una masa de no menos de 100 g.

**3.2** Se coloca la muestra en un recipiente y se lleva al horno a  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ \text{F}$ ), donde se seca hasta masa constante. Luego se remueve la muestra del horno, se coloca en el desecador y se permite su enfriamiento.

*Nota 1: Se puede permitir que la muestra permanezca en el horno hasta cuando se vaya continuar con el resto del ensayo.*

### 4 PROCEDIMIENTO

---

**4.1** Se escoge una muestra con una masa aproximada de 10 a 40 g, se coloca en un crisol tarado o en un plato de evaporación de porcelana y se determina su masa (A), con aproximación a 0.01 g.

*Nota 2: Las masas de muestras de materiales livianos, como la turba, pueden ser menores de 10 g, pero deberán ser de suficiente cantidad para llenar el crisol al menos hasta 3/4 de su profundidad. Se puede requerir una tapa sobre el crisol durante la fase inicial de ignición, para disminuir la posibilidad de que la muestra sea arrojada fuera del recipiente.*

**4.2** Se coloca el crisol o el plato que contiene la muestra dentro de la mufla durante 6 horas a  $445 \pm 10^\circ \text{C}$ . Se saca la muestra de la mufla, se coloca en el desecador y se permite su enfriamiento.

**4.3** Se remueve del desecador el crisol o plato con la muestra enfriada y se determina su masa (B), con aproximación a 0.01 g.

### 5 CÁLCULOS

---

**5.1** El contenido orgánico se deberá expresar como un porcentaje de la masa del suelo secado en el horno y se calcula con la expresión:

$$\% \text{ de materia orgánica} = \frac{A - B}{A - C} \times 100 \quad [121.1]$$

- Donde A: Masa del crisol o plato de evaporación y del suelo secado al horno, antes de la ignición;
- B: Masa del crisol o plato de evaporación y del suelo secado al horno, después de la ignición;
- C: Masa del crisol o plato de evaporación, con aproximación a 0.01 g.

*Nota 3: El porcentaje de materia orgánica se debe calcular con aproximación a 0.1 %.*

## 6 INFORME

---

**6.1** Se debe presentar la siguiente información:

- 6.1.1** Procedencia de la muestra.
- 6.1.2** Descripción de la muestra y clasificación, si se dispone de ella.
- 6.1.3** Utilización que se dará al resultado del ensayo.
- 6.1.4** Contenido de materia orgánica, aproximado a 0.1 %.

## 7 PRECISIÓN Y SESGO

---

**7.1** *Precisión* – Los criterios para juzgar la aceptabilidad del porcentaje de materia orgánica obtenido mediante este método, se muestran en la tabla que se incluye en seguida.

- 7.1.1** Las estimaciones de precisión se basan en el análisis de los resultados de ensayos realizados en 27 laboratorios que participaron en el estudio. Los datos consistieron en medidas del contenido orgánico de mezclas de arcilla, limo y arenas, con 2 %, 5 % y 8 % de materia orgánica.

CONDICIÓN Y PROPIEDADES DEL ENSAYO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (%) (1s)	RANGO ACEPTABLE DE DOS RESULTADOS (%) (d2s)
<u>Precisión de un solo operador:</u>		
Arcilla	0.25	0.72
Limo y arena	0.19	0.54
<u>Precisión entre laboratorios:</u>		
Arcilla	0.57	1.60
Limo y arena	0.35	1.00

**7.2 Sesgo** – No se presenta información en relación con el sesgo del procedimiento, por cuanto no se realizaron comparaciones con un material que sirviera de referencia aceptable.

## 8 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

---

AASHTO T 267 – 86 (2008)

HALEH AZARI, "Precision Estimates of AASHTO T267: Determination of Organic Content in Soils by Loss on Ignition", NCHRP web-only document 163, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, September 2010



# DETERMINACIÓN EN EL LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO, ROCA Y MEZCLAS DE SUELO -AGREGADO

INV E – 122 – 13

## 1 OBJETO

---

**1.1** Esta norma se refiere a la determinación en el laboratorio del contenido de agua (humedad), por masa, de suelo, roca, y mezclas de suelo-agregado. Por simplicidad, de aquí en adelante, la palabra "material" se refiere a suelo, roca o mezclas de suelo-agregado, la que sea aplicable.

**1.2** El término "material sólido", como se emplea de manera típica en la ingeniería geotécnica, significa partículas minerales de suelo y roca que se forman naturalmente y que no son fácilmente solubles en agua. Por lo tanto, el contenido de agua en materiales que contengan materias extrañas (tales como cemento, etc.) puede requerir una definición calificada. Por otra parte, algunos materiales orgánicos se pueden descomponer al ser secados en el horno a la temperatura normal usada para este ensayo (110° C). Materiales que contengan yeso (sulfato de calcio dihidratado) u otros compuestos con cantidades significativas de agua hidratada, pueden presentar problemas especiales, ya que ellos se deshidratan lentamente a la temperatura normalizada de secado (110° C) y a muy baja humedad relativa, formando un compuesto (como el sulfato de calcio hemihidratado) que normalmente no está presente en materiales naturales, excepto en algunos suelos desérticos. Para poder reducir el grado de deshidratación del yeso en los materiales que lo contengan, o reducir la descomposición en suelos con alto contenido orgánico, puede resultar aconsejable secar estos materiales a 60° C (140° F) o en un desecador a temperatura ambiente. En este orden de ideas, cuando se use una temperatura de secado diferente a la definida para este método de ensayo, el contenido de agua resultante puede diferir del obtenido al emplear la temperatura normalizada de secado de 110° C.

*Nota 1: El método de ensayo ASTM D2974 proveen un procedimiento alternativo para determinar el contenido de agua en materiales altamente orgánicos (turba).*

**1.3** Al ensayar mediante este método materiales que contengan agua con cantidades considerables de sólidos solubles (como sal, en el caso de sedimentos marinos), su masa de sólidos incluirá los sólidos solubles disueltos. Estos materiales precisan un tratamiento especial para retirar o considerar la

presencia de sólidos precipitados en la masa seca de la muestra, o requieren una definición calificada del contenido de agua.

- 1.4** La determinación del contenido de agua mediante el método descrito en esta norma de ensayo requiere varias horas. La norma INV E-135 presenta un proceso de menor duración, consistente en el secado de la muestra en un horno microondas.
- 1.5** Esta norma exige el secado del material en un horno a  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ \text{F}$ ). Si el material que está siendo secado se encuentra contaminado con determinados químicos, se pueden presentar peligros para la salud y la seguridad. Por lo tanto, la norma no se deberá usar para determinar el contenido de agua en suelos contaminados, a no ser que se hayan tomado medidas adecuadas de precaución en relación con la salud y la seguridad.
- 1.6** La norma incluye dos métodos para determinar el contenido de agua, los cuales difieren en el número de cifras significativas con las cuales se deben presentar los resultados y en la masa de material requerido. El método por usar debe ser indicado por el cliente. Si éste no lo hace, se usará el Método A.
  - 1.6.1** *Método A* – El contenido de agua, por masa, se debe registrar con aproximación a 1 %. Para casos en que se presente discusión en relación con los resultados, el Método A se deberá tomar como referencia.
  - 1.6.2** *Método B* – El contenido de agua, por masa, se debe registrar con aproximación a 0.1 %.
- 1.7** Normalmente, es el número de cifras significativas el que determina cuál método se debe utilizar (A o B). Esto es particularmente importante si el contenido de agua se va a emplear para calcular otras relaciones, como puede ser el caso de determinar la masa seca a partir de la masa húmeda o viceversa; o de masa unitaria seca a partir de la húmeda o viceversa. Por ejemplo, si se requieren cuatro dígitos significativos en alguno de los cálculos que se acaban de citar, entonces el contenido de agua se debe reportar al 0.1 % más cercano. Esto se debe a que 1 (uno) más el contenido de agua (no en porcentaje) tendrá cuatro dígitos significativos, independientemente de cuál es el valor de dicho contenido; es decir que  $1 + (0.1/100) = 1.001$  es un número con cuatro dígitos significativos. Mientras que si se aceptaran tres cifras significativas, el contenido de agua debería reportarse al 1 % más cercano.
- 1.8** Esta norma reemplaza la norma INV E-122-07.

## 2 DEFINICIONES

---

2.1 Las siguientes definiciones son aplicables al contenido de esta norma:

**2.1.1** *Contenido de agua por masa* – Se define como la relación, expresada en porcentaje, entre la masa de agua que llena los poros (agua libre) del material, y la masa de las partículas sólidas de éste. Para la determinación de la masa del agua se debe usar una temperatura de referencia de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ \text{F}$ ).

**2.1.2** *Masa seca constante* – Es el estado que alcanza un material material cuando un calentamiento posterior produce una pérdida adicional de masa menor de 1 % o 0.1 %, según se apliquen el Método A o el Método B, respectivamente. El tiempo requerido para alcanzar masa constante depende de numerosos factores, cuya influencia se puede establecer a partir del buen juicio del operario y de la experiencia que tenga con el equipo utilizado y el material que se ensaya.

## 3 RESUMEN DEL MÉTODO

---

**3.1** Se lleva una muestra del material húmedo a un horno a  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ \text{F}$ ) y se seca hasta alcanzar una masa constante. Se considera que la masa perdida a causa del secado es agua y que la masa remanente corresponde a la muestra seca. El contenido de agua se calcula relacionando la masa de agua en la muestra húmeda con la masa de la muestra seca.

## 4 IMPORTANCIA Y USO

---

**4.1** El contenido de agua es una de las propiedades índices más significativas de muchos materiales y se emplea para establecer correlaciones con el comportamiento de los suelos.

**4.2** El contenido de agua se usa en la mayoría de las ecuaciones que relacionan las fases aire, agua y sólidos en un volumen dado de material.

**4.3** En el caso de los suelos de grano fino (cohesivos), la consistencia depende de su contenido de agua. El contenido de agua de un suelo, junto con su límite líquido (norma INV E-125) y su límite plástico (norma INV E - 126), se usan para expresar su consistencia relativa o índice de liquidez.

## 5 EQUIPO

---

- 5.1** *Horno* – Controlado termostáticamente, preferiblemente de tiro forzado, y que pueda mantener una temperatura uniforme de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ \text{F}$ ) en toda la cámara de secado.
- 5.2** *Balanzas* – Con una legibilidad de 0.01 g para muestras que tengan una masa de 200 g o menos; y una legibilidad de 0.1 g para muestras que tengan una masa mayor de 200 g. En cualquier caso, la balanza utilizada deberá ser controlada por el número necesario de dígitos significativos (Ver numeral 1.7).
- 5.3** *Recipientes para las muestras* – Recipientes adecuados, hechos de un material resistente a la corrosión y a cambios en su masa al ser sometidos a calentamientos y enfriamientos repetidos, a la exposición a materiales de pH variado y a operaciones de limpieza. A menos que se use un desecador, se deberán usar recipientes con tapas de cierre hermético para el ensayo de muestras con masa hasta de 200 g; mientras que para muestras de masa mayor se podrán usar recipientes sin tapa (nota 2). Los recipientes y sus tapas deberán tener identificaciones numéricas que los individualicen completamente; además, los números en las tapas deberán coincidir con los de sus recipientes, con el fin de evitar confusiones.
- Nota 2: El propósito de las tapas de cierre hermético es doble: prevenir las pérdidas de humedad de las muestras antes del pesaje inicial y evitar la absorción de humedad proveniente de la atmósfera después del secado y antes del pesaje final.*
- 5.4** *Desecador (Opcional)* – De tamaño adecuado y que contenga gel de sílice o sulfato de calcio anhidro. Se prefiere el uso de un desecante que cambie de color cuando requiera reemplazo.
- 5.5** *Aparato para el manejo de las muestras* – Apropiado para mover y manejar los recipientes calientes luego del secado de las muestras.
- 5.6** *Elementos misceláneos* – Guantes resistentes al calor, cuchillos, espátulas, cucharas, lona para cuartear, seguetas, etc.

## 6 MUESTRAS

---

- 6.1** Antes del ensayo, las muestras se deben almacenar en recipientes herméticos no corrosibles, a una temperatura entre  $3$  y  $30^\circ \text{C}$  ( $37$  a  $86^\circ \text{F}$ ) y en un área en la cual no tengan contacto directo con la luz solar. Las muestras alteradas que

se encuentren en vasijas u otros recipientes deberán ser almacenadas de manera de prevenir o minimizar la condensación de humedad en las paredes internas de los recipientes.

- 6.2** La determinación del contenido de agua se deberá hacer tan pronto como sea posible después del muestreo, en especial si los recipientes usados son potencialmente corrosibles (como tubos de acero de pared delgada, latas de pintura, etc.) o bolsas plásticas.

## 7 ESPÉCIMEN DE ENSAYO

- 7.1** Para las determinaciones de los contenidos del agua que se realicen con el fin de suministrar el dato obtenido como insumo para la ejecución de otro ensayo, se deberá usar la cantidad de masa de muestra indicada en la norma que rige el otro ensayo. Si en dicha norma no se estipula ninguna cantidad, se deberán aplicar los valores que se mencionan más adelante.
- 7.2** La masa mínima del espécimen del material húmedo seleccionado como representativo del total de la muestra, se debe escoger en función (1) del tamaño máximo de partícula que haya sido determinado por examen visual, y (2) del método adoptado para el registro de los datos (Método A o Método B). La masa mínima de la muestra y la capacidad de lectura que debe tener la balanza utilizada para pesar las muestras, deberán estar de acuerdo con lo indicado en la Tabla 122 - 1.

Tabla 122 - 1. Requisitos sobre la masa mínima de los especímenes de ensayo y la lectura de las balanzas<sup>1</sup>

TAMAÑO MÁXIMO DE PARTÍCULA (PASA 100 %)		MÉTODO A		MÉTODO B	
		CONTENIDO DE AGUA REGISTRADO CON APROXIMACIÓN DE $\pm 1\%$		CONTENIDO DE AGUA REGISTRADO CON APROXIMACIÓN DE $\pm 0.1\%$	
TAMAÑO TAMIZ (MM)	TAMAÑO TAMIZ ALTERNATIVO	MASA DEL ESPÉCIMEN	LECTURA DE LA BALANZA (g)	MASA DEL ESPÉCIMEN	LECTURA DE LA BALANZA (g)
75.0	3"	5 kg	10	50 kg	10
37.5	1½"	1 kg	10	10 kg	10
19.0	¾"	250 g	1	2.5 kg	1
9.5	3/8"	50g	0.1	500 g	0.1
4.75	No. 4	20 g	0.1	100 g	0.1
2.00	No. 10	20 g	0.1	20 g	0.01

<sup>1</sup> Si los datos obtenidos al pesar las muestras se van a emplear en el cálculo de otras relaciones, tales como pesos unitarios totales o secos, las masas de especímenes hasta de 200 g se deberán determinar usando una balanza con precisión de 0.01 g

- 7.3** El uso de un espécimen de ensayo de tamaño inferior al mínimo indicado en el numeral 7.2 requiere especial cuidado, debiendo considerarse si resulta adecuado para el propósito de la prueba. En la hoja de datos del ensayo, o en los formatos con los resultados, se deberá dejar constancia de cualquier espécimen usado que no satisfaga los requisitos de la Tabla 122 - 1.
- 7.4** Cuando se trabaje con un espécimen pequeño (menos de 200 g) que contenga una partícula de grava relativamente grande, se debe descartar esta partícula dentro del espécimen de prueba. Sin embargo, en la hoja de datos del ensayo o en los formatos con los resultados, se deberá dejar constancia de cualquier material descartado.
- 7.5** Para aquellas muestras compuestas en su totalidad por roca intacta o agregados del tamaño de grava, la masa mínima del espécimen debe ser de 500 g. Se permite dividir porciones representativas de la muestra en partículas más pequeñas, cuyo tamaño dependerá de la masa del espécimen, del volumen del recipiente y de la balanza que se va a usar para determinar la masa constante (Ver numeral 9.4). Se pueden ensayar especímenes de masas tan pequeñas como 200 g, si resulta aceptable informar contenidos de agua con sólo dos dígitos significativos.

## **8 SELECCIÓN DE ESPECÍMENES PARA ENSAYO**

---

- 8.1** Cuando el espécimen para el ensayo sea una porción de una cantidad mayor de material, se deberá seleccionar de manera que sea representativo de la condición de humedad de la totalidad del material. La manera como se seleccione el espécimen de ensayo depende del propósito y de la aplicación del resultado de la prueba, del tipo de material que se ensaya, de la condición del agua y de la clase de muestra (proveniente de otro ensayo, bolsa, bloque, etc.)
- 8.2** En el caso de muestras alteradas, tales como muestras desbastadas, muestras de bolsa, etc., el espécimen de muestra se debe obtener por medio de uno de los métodos que se describen a continuación (listados en orden de preferencia):
- 8.2.1** Si el material puede ser manejado sin pérdida significativa de humedad y sin que se produzca segregación, deberá ser mezclado completamente, seleccionando luego una porción representativa con una pala de tamaño tal, que solo se requieran unas pocas paladas para obtener el tamaño apropiado del espécimen según se define en el

numeral 7.2. Se mezclan todas las paladas para conformar el espécimen de ensayo.

**8.2.2** Si el material es tal que no puede ser mezclado totalmente, o mezclado y muestreado con una pala, se forma una pila, mezclándolo tanto como sea posible. Se recogen, por lo menos, cinco porciones del material de lugares escogidos aleatoriamente usando un tubo muestreador, pala, una cuchara o palustre, o cualquier herramienta similar apropiada para recoger las partículas más grandes que se encuentren en el material. En seguida, se combinan todas las porciones para obtener el espécimen para el ensayo.

**8.2.3** Si el material o las condiciones son tales que no permiten la formación de una pila, se deben recoger tantas porciones como resulte práctico, usando lugares escogidos al azar que representen bien la condición de humedad del material. Todas las porciones se deben combinar para obtener el espécimen de ensayo.

**8.3** En el caso de muestras intactas, tales como las de bloque, de tubo de pared delgada, de tubo partido y otras similares, el espécimen para el ensayo se debe obtener usando uno de los métodos siguientes, dependiendo del propósito y uso potencial de la muestra:

**8.3.1** Empleando un cuchillo, segueta, o cualquier otro elemento cortante, se desbasta el exterior de la muestra en una longitud suficiente para comprobar si el material está estratificado, y para retirar el material que parezca más seco o más húmedo que la porción principal de la muestra. Si existen dudas sobre la existencia de estratos, la muestra se debe cortar por la mitad. Si el material resulta estratificado, véase el numeral 8.3.3.

**8.3.2** Si el material no está estratificado, el espécimen se debe obtener cumpliendo los requisitos de masa indicados en el numeral 7.2, de la siguiente manera: (1) tomando toda o la mitad del intervalo por ensayar; (2) cortando una tajada representativa del intervalo por ensayar; o (3) desbastando la superficie expuesta de una mitad o del intervalo por ensayar.

*Nota 3: La migración de humedad en algunos suelos sin cohesión puede obligar a ensayar toda la muestra.*

**8.3.3** Si el material es estratificado (o se encuentra más de un tipo de material), se selecciona un espécimen promedio y/o especímenes

individuales. Los especímenes deben ser identificados apropiadamente en cuanto a su ubicación o a lo que ellos representan, y se deben incluir comentarios apropiados en los formatos de los ensayos o en las hojas de resultados.

## 9 PROCEDIMIENTO

---

- 9.1 Se determina y registra la masa de un recipiente limpio y seco (y su tapa, si ella se usa).
- 9.2 Se escoge una muestra de ensayo representativa, de acuerdo con la Sección 8.
- 9.3 Se coloca la muestra húmeda dentro del recipiente; se coloca la tapa firmemente en posición (cuando ella se utilice) y se determina el peso del recipiente con la muestra de material, usando una balanza apropiada, según lo indicado en el numeral 7.2. Se anota este valor.

*Nota 4: Para facilitar el secado al horno de muestras de ensayo muy grandes, éstas se deben colocar en recipientes que tengan un área superficial amplia (como una bandeja), separando el material en pequeños grupos.*

- 9.4 Se retira la tapa (si fue usada) y se coloca el recipiente con el material húmedo en el horno para secar el material hasta que alcance masa constante. El horno secador se mantiene a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ \text{F}$ ), salvo que se especifique otra cosa (ver numeral 1.2). El tiempo requerido para alcanzar la masa constante varía dependiendo del tipo de material, del tamaño del espécimen, del tipo y capacidad del horno y otros factores. Generalmente, la influencia de estos factores se puede establecer usando el buen juicio y la experiencia adquirida con los materiales que están siendo ensayados y con el equipo utilizado
  - 9.4.1 En la mayoría de los casos, el secado de una muestra de un día para otro (12 a 16 horas), es suficiente, en especial si se usan hornos de tiro forzado. Cuando se presenten dudas sobre la suficiencia del secado a masa constante, se deberá repasar la definición del numeral 2.1.2 y verificar si se producen pérdidas adicionales de masa bajo tiempos adicionales de secado en el horno. Se puede usar un período mínimo de dos horas, incrementado el tiempo de secado a medida que la masa del espécimen es mayor. Una manera rápida de verificar si una muestra relativamente grande (de más de 100 g) está seca, consiste en colocar una pequeña tira de papel sobre la muestra cuando está en el



horno o justo al sacarla de él. Si el papel tiende a enrollarse, ello significa que el material no está totalmente seco y, por lo tanto, requiere un tiempo adicional de secado. Los especímenes de arena se pueden secar a menudo hasta masa constante en un lapso de cuatro horas, cuando se emplea un horno de tiro forzado.

**9.4.2** Debido a que algunos materiales secos pueden absorber humedad de especímenes que aún conserven alguna humedad, aquellos deben ser retirados del horno antes de colocar los especímenes húmedos, salvo que se tenga previsto que los especímenes secos permanezcan en el horno durante toda la noche.

**9.5** Después de que el material se haya secado a masa constante, se retira el recipiente del horno y se le coloca la tapa, si ella se usó inicialmente (ver numerales 9.1 y 9.3). Se permite que el material y el recipiente se enfríen a la temperatura ambiente o hasta que el recipiente pueda ser manejado fácilmente con ambas manos y la operación de pesaje no se vea afectada por corrientes de convección y/o transmisión de calor. Se determina la masa del recipiente con la muestra secada en el horno, usando la misma balanza usada en la operación descrita en el numeral 9.3. Se registra este valor. Se deberán usar tapas de ajuste a presión siempre que se ensayen especímenes que absorban humedad del aire antes de determinarles la masa seca.

**9.5.1** El enfriamiento de la muestra seca en un desecador constituye una buena alternativa al uso de las tapas de presión, ya que se reduce enormemente la absorción de la humedad atmosférica durante el enfriamiento.

## 10 CÁLCULOS

---

**10.1** Se calcula el contenido de agua del material con la fórmula:

$$w = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_c} \times 100 = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad [121.1]$$

Donde:  $w$ : Contenido de agua, %;

$W_1$ : Masa del recipiente con el espécimen húmedo, g;

$W_2$ : Masa del recipiente con el espécimen seco, g;

- $W_c$ : Masa del recipiente, g;
- $W_w$ : Masa del agua, g;
- $W_s$ : Masa de las partículas sólidas, g.

## 11 INFORME

---

**11.1** El informe (hoja de resultados) debe incluir lo siguiente:

- 11.1.1** Identificación de la muestra (material), indicando número de perforación, número de muestra, número de ensayo, número de recipiente, etc.
- 11.1.2** El contenido de agua del espécimen, aproximado al 1 % para el Método A o al 0.1 % para el Método B, como resulte apropiado de acuerdo con la masa mínima del espécimen. Si esta norma de ensayo se está empleando para obtener un insumo requerido por otra norma, el contenido del agua del espécimen se debe reportar de conformidad con el valor requerido por el método de prueba para el cual se requiere el valor del contenido del agua. En la norma ASTM D 6026 se presenta una guía en relación con los dígitos significativos, especialmente si el valor obtenido por medio de este método de ensayo va a ser usado para calcular otras relaciones, tales como el peso unitario o la densidad. Por ejemplo, si se desea expresar el peso unitario seco redondeado a 0.1 lbf/pie<sup>3</sup> (0.02 kN/m<sup>3</sup>), podrá ser necesario el empleo de una balanza de mayor precisión de lectura o usar un espécimen con mayor masa para obtener las cifras significativas de la masa de agua, de manera de determinar el contenido del agua con el número requerido de dígitos significativos. Además, los dígitos significativos recomendados en la norma ASTM D 6026 pueden requerir un incremento cuando se vayan a calcular relaciones de fase que requieran cuatro dígitos significativos.
- 11.1.3** Se debe indicar si el espécimen de muestra tuvo una masa menor que la mínima especificada en el numeral 7.2.
- 11.1.4** Se debe indicar si el espécimen de muestra contenía más de un tipo de suelo (estratificado, etc.).

- 11.1.5** Se debe indicar si se empleó una temperatura de secado diferente de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ \text{F}$ ).
- 11.1.6** Se debe indicar si algún material (tamaño y cantidad) fue excluido del espécimen de prueba.
- 11.2** Al informar el contenido del agua en tablas, figuras, etc., se deberá señalar todo dato que no haya sido obtenido de acuerdo con los requisitos de esta norma como, por ejemplo, el incumplimiento de los requisitos de masa, de clase de balanza o de temperatura de secado, o si se excluyó alguna porción del espécimen de prueba.

## 12 PRECISIÓN Y SESGO

---

- 12.1** *Precisión* – No se presentan datos sobre precisión, debido a la naturaleza de los materiales ensayados según esta norma. No es factible, o resulta demasiado costoso, comprometer diez o más laboratorios que participen actualmente en un programa de ensayo a petición. Cualquier variación que presenten los datos se puede imputar a variaciones en las muestras, en el desempeño del operario o en el laboratorio donde se realiza el ensayo.
- 12.2** *Sesgo* – No hay ningún valor aceptado como referencia para este método de ensayo; por lo tanto, no se puede determinar el sesgo.

## 13 NORMAS DE REFERENCIA

---

ASTM D 2216–10

**Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente**

# DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS

INV E – 123 – 13

## 1 OBJETO

- 1.1** Esta norma se refiere a la determinación cuantitativa de la distribución de los tamaños de las partículas de un suelo. La distribución de las partículas mayores de 75  $\mu\text{m}$  (retenidas en el tamiz No. 200) se determina por tamizado, mientras que la distribución de los tamaños de las partículas menores de 75  $\mu\text{m}$  se determina por un proceso de sedimentación empleando un hidrómetro (nota 1 y nota 2).

*Nota 1: Si se desea, la separación de la muestra para aplicar el método descrito en esta norma se puede hacer en el tamiz No 4 (4.75 mm), en el No. 40 (425  $\mu\text{m}$ ), o en el tamiz No. 200 (75  $\mu\text{m}$ ), en vez del tamiz No 10. Se debe mencionar en el informe cuál fue el tamiz utilizado.*

*Nota 2: Se estipulan dos tipos de aparatos de dispersión: (1) un mezclador mecánico de alta velocidad y (2) dispersión por aire. Los resultados de muchas investigaciones indican que los equipos de dispersión por aire producen una dispersión más positiva en suelos finos plásticos con tamaños inferiores a 20  $\mu\text{m}$ , así como una degradación apreciablemente inferior en todos los tamaños, cuando se usa con suelos arenosos. Debido a las ventajas definitivas de la dispersión por aire, se recomienda su uso. Los resultados obtenidos con los dos aparatos difieren en magnitud, dependiendo del tipo de suelo, especialmente para tamaños menores de 20  $\mu\text{m}$ .*

- 1.2** Esta norma reemplaza las normas INV E-123-07 e INV E-124-07.

## 2 EQUIPO

- 2.1** *Dos balanzas* – Una con sensibilidad de 0.01 g para pesar material que pasa el tamiz de 2.0 mm (No. 10) y otra con sensibilidad de 0.1 % de la masa de la muestra, para pesar los materiales retenidos en el tamiz de 2.0 mm (No. 10).
- 2.2** *Tamices de malla cuadrada* – Un juego completo de tamices, que incluye los siguientes:

75 mm (3")	2.00 mm (No. 10)
50 mm (2")	850 $\mu\text{m}$ (No. 20)
37.5 mm (1-½")	425 $\mu\text{m}$ (No. 40)
25 mm (1")	250 $\mu\text{m}$ (No. 60)
19.0 mm (¾")	106 $\mu\text{m}$ (No. 140)
9.5 mm (3/8")	75 $\mu\text{m}$ (No. 200)
4.75 mm (No. 4)	

**2.2.1** De manera alternativa, se puede usar una serie de tamices tal, que al dibujar la curva granulométrica, se obtenga una separación uniforme entre los puntos del gráfico. Esta serie está integrada por los siguientes tamices:

75 mm (3")	1.10 mm (No. 16)
37.5 mm (1-½")	600 μm (No. 30)
19.0 mm (¾")	300 μm (No. 50)
9.5 mm (3/8")	150 μm (No. 100)
4.75 mm (No. 4)	75 μm (No. 200)
2.36 mm (No. 8)	

**2.3** *Aparato agitador* – Se pueden emplear dos aparatos, denominados A y B:

**2.3.1** *Aparato A* - Un agitador operado mecánicamente, en el cual un motor eléctrico apropiado hace girar un eje vertical a una velocidad no menor de 10 000 revoluciones por minuto, sin carga. El eje debe estar equipado con una paleta agitadora reemplazable, hecha de metal, plástico o caucho duro, como se muestra en la Figura 123 - 1. El eje debe ser de una longitud tal, que la paleta agitadora pueda operar a no menos de 19 mm (¾") ni más de 38.1 mm (1½") por encima del fondo del recipiente de dispersión. El recipiente de dispersión, que se debe ajustar a alguno de los diseños mostrados en la Figura 123 - 2, deberá contener la totalidad de la muestra mientras ella está siendo dispersada.

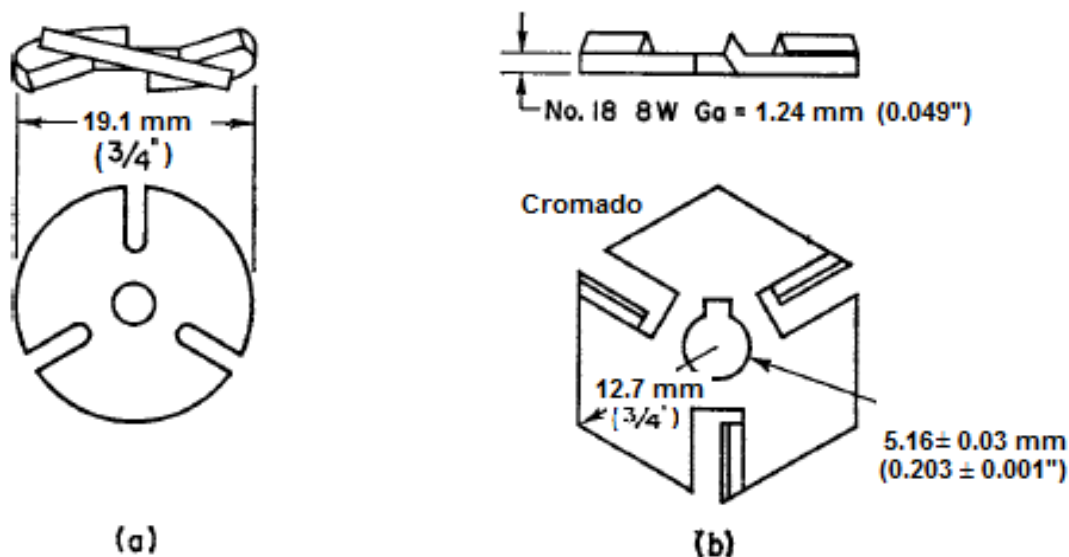


Figura 123 - 1. Detalles de paletas agitadoras

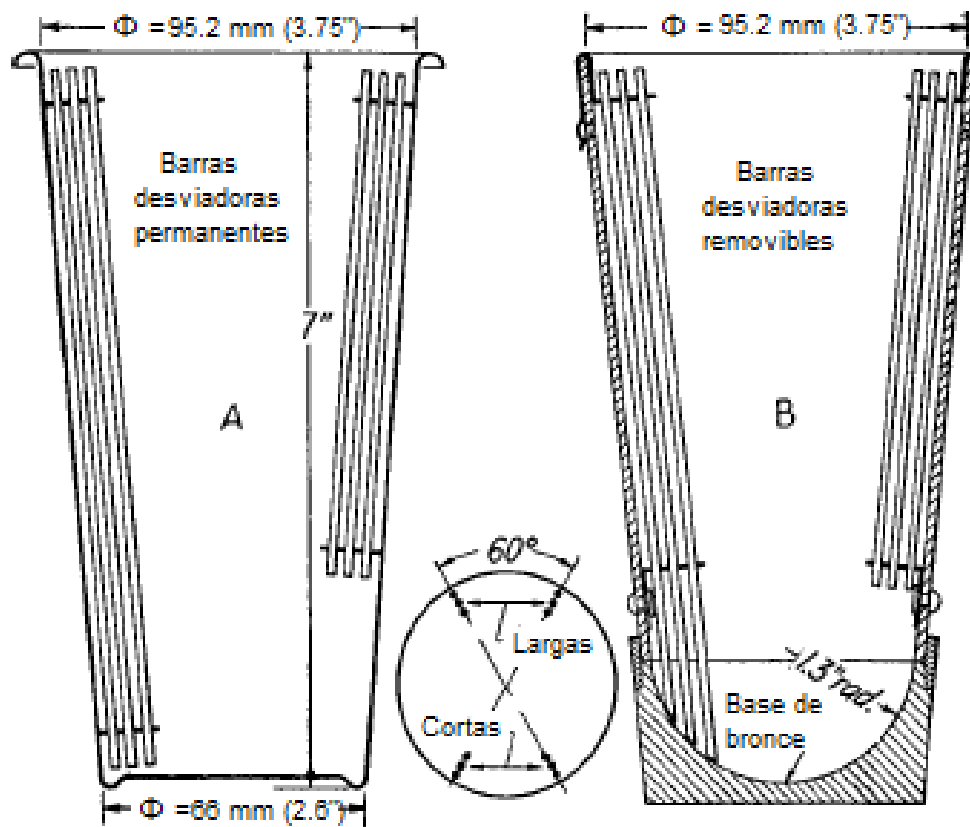


Figura 123 - 2. Recipientes de dispersión del Aparato A

**2.3.2 Aparato B** – Un recipiente de dispersión de chorro de aire, conforme con los detalles generales que muestra la Figura 123 - 3.

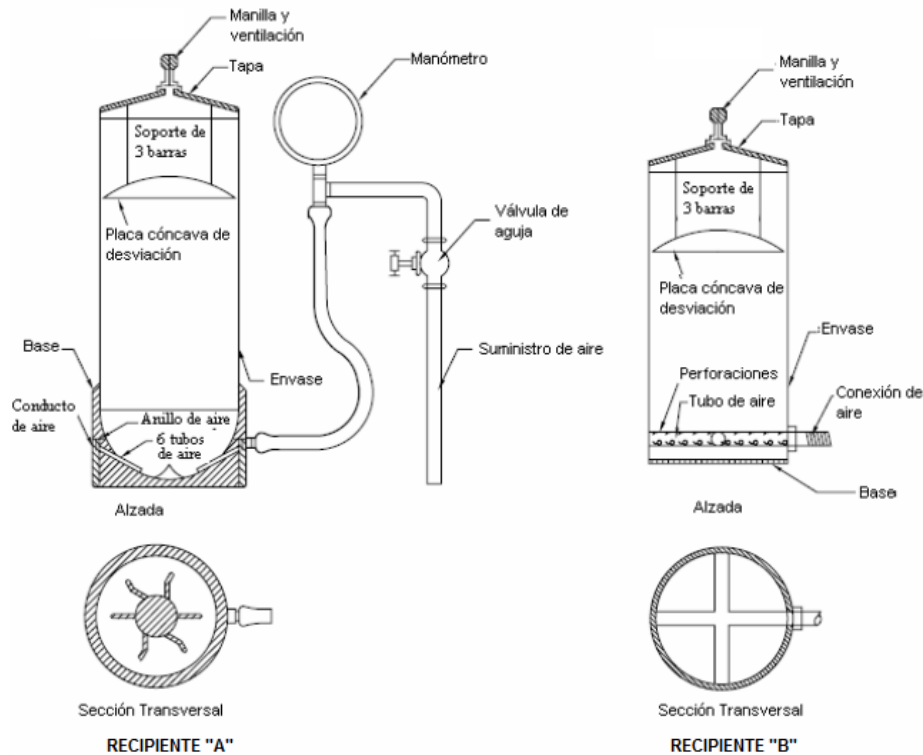


Figura 123 - 3. Recipientes de dispersión de chorro de aire del Aparato B

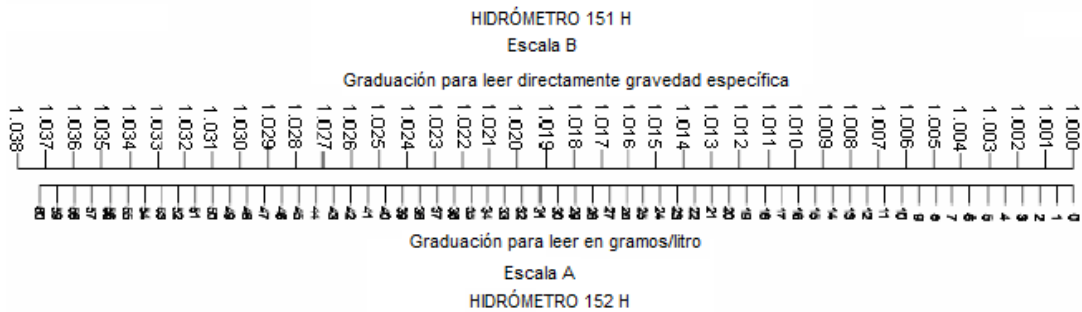
*Nota 3: La cantidad de aire requerida para un recipiente de dispersión de chorro de aire (por inyección) es del orden de  $0.06 \text{ m}^3/\text{min}$  ( $2 \text{ pies}^3/\text{min}$ ); algunos compresores de aire pequeños no tienen la capacidad para proporcionar el aire suficiente para operar el recipiente.*

*Nota 4: Otro tipo de aparato de dispersión de aire, conocido como tubo de dispersión, desarrollado por Chu y Davidson en el Iowa State Collage, da resultados equivalentes a aquellos obtenidos con los recipientes de chorro de aire. Cuando se usa este aparato, la saturación de la muestra se puede hacer directamente en el cilindro de sedimentación, eliminando así la necesidad de transferir la lechada. Si se utiliza el tubo de dispersión, se debe hacer mención de ello en el informe.*

*Nota 5: El agua se puede condensar en los tubos de aire cuando ellos no están en uso. Esta agua debe ser retirada, ya sea usando una trampa de agua en la tubería de aire o soplando el agua fuera de la tubería antes de usar el aire con fines de dispersión.*



**2.4 Hidrómetro** – Conforme a los requisitos para los hidrómetros 151 H o 152 H de la norma ASTM E 100, graduado para leer, de acuerdo con la escala que tenga grabada, la gravedad específica de la suspensión o los gramos por litro de suspensión. En el primer caso, la escala tiene valores de gravedad específica que van de 0.995 a 1.038 y estará calibrado para leer 1.00 en agua destilada a 20° C (68° F). Este hidrómetro se identifica como 151 H. En el otro caso, la escala tiene valores de gramos de suelo por litro (g/l) que van de - 5 a + 60. Se identifica como 152 H y está calibrado para el supuesto de que el agua destilada tiene gravedad específica de 1.00 a 20° C (68° F) y que el suelo en suspensión tiene una gravedad específica de 2.65. Las dimensiones de estos hidrómetros son las mismas, siendo la escala la única característica que los distingue (Figura 123 - 4).



La escala de gravedad específica debe calibrarse para leer 1.000 a 20° C (68° F) y debe extenderse para una capacidad de lectura desde 0.995 hasta 1.038. La escala gramos/Litro debe extenderse desde -5 g/l, con respecto a cero (1.000 de gravedad específica) hasta 60 g/l. El bulbo debe ser simétrico por encima y por debajo del diámetro medio y debe soplar dentro de un molde para garantizar uniformidad del producto.

El diámetro del vástago puede variar para ajustar la longitud de la escala que se especifique pero debe ser de diámetro uniforme de extremo a extremo.

La exactitud de la escala debe ser de una división de la misma. Distribuido uniformemente en toda su longitud.

- > Hidrómetros provistos de escala "B" deben ser identificados como No. 151 H
- > Hidrómetros provistos de escala "A" deben ser identificados como No. 152 H

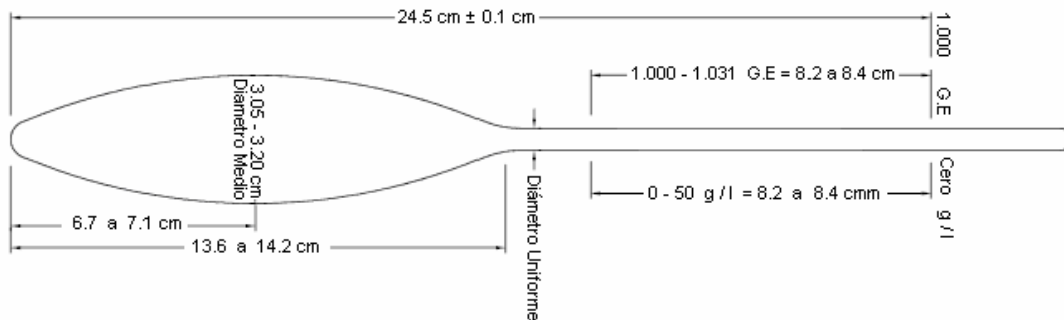


Figura 123 - 4. Hidrómetro

**2.5 Cilindro de vidrio para sedimentación** – De unos 457 mm (18") de alto y 63.5 mm (2½") de diámetro, y marcado para un volumen de 1000 ml a 20° C (68°

F). El diámetro interior debe ser tal, que la marca de 1000 ml se encuentre a  $360 \pm 20$  mm ( $14 \pm 1.0$ " ) del fondo, en el interior del cilindro (Figura 123 - 5).



Figura 123 - 5. Cilindros para sedimentación

- 2.6 *Termómetro de inmersión* – Con apreciación de  $0.5^{\circ}$  C ( $0.9^{\circ}$  F).
- 2.7 *Cronómetro o reloj.*
- 2.8 *Horno* – Capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta  $110 \pm 5^{\circ}$  C ( $230 \pm 9^{\circ}$  F).
- 2.9 *Baño de agua o cuarto de temperatura constante* – Se utiliza para mantener la suspensión de suelo a temperatura constante durante el análisis del hidrómetro, evitándose de esta forma las correcciones por temperatura. Un baño de agua satisfactorio, es un tanque con aislamiento que mantiene la suspensión a una temperatura constante conveniente, del orden de  $20^{\circ}$  C ( $68^{\circ}$  F). Este aparato se muestra en la Figura 123 - 6. En aquellos casos en los cuales el trabajo se lleve a cabo en un cuarto con temperatura constante controlada automáticamente, el baño de agua no es necesario.

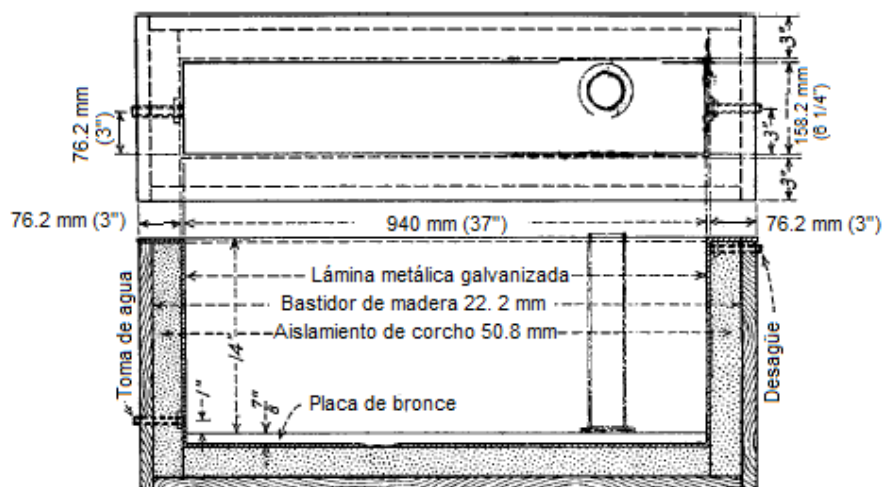


Figura 123 - 6. Esquema del baño de agua

- 2.10 Vaso de precipitados (Beaker)** – Con una capacidad de 250 ml.
- 2.11 Recipientes** – Recipientes apropiados, hechos de material no corrosible y que no estén sujetos a cambio de masa o desintegración a causa de repetidos calentamientos y enfriamientos. Los recipientes deben tener tapas que se ajusten perfectamente, para evitar pérdidas de humedad antes de determinar la masa inicial de las muestras y para prevenir la absorción de humedad de la atmósfera después del secado y antes de la determinación de la masa final.
- 2.12 Varilla de vidrio** – Una varilla de vidrio apropiada para agitar la muestra.
- 2.13 Cepillo y brocha** – Para limpiar las mallas de los tamices.

### 3 REACTIVOS

- 3.1 Agente dispersante** – Una solución de hexametáfosfato de sodio en agua destilada o desmineralizada, en proporción de 40 g de hexametáfosfato de sodio por litro de solución (nota 6).

*Nota 6: Las soluciones de esta sal se deberán ser preparar frecuentemente (al menos una vez al mes) o ajustar su pH de 8 a 9, por medio de carbonato de sodio. Las botellas que contienen soluciones deberán tener marcada la fecha de preparación.*

- 3.2 Agua** – Toda agua utilizada deberá ser destilada o desmineralizada. El agua para la prueba con el hidrómetro se deberá llevar hasta la temperatura que prevalecerá durante el ensayo. Por ejemplo, si el cilindro de sedimentación se

va a colocar en el baño de agua, la temperatura del agua destilada o desmineralizada que se va a utilizar se deberá llevar a la temperatura controlada de dicho baño; o si el cilindro de sedimentación se va a colocar en el cuarto de temperatura controlada, el agua para el ensayo se deberá encontrar a la temperatura del cuarto. La temperatura normal de ensayo es 20° C (68° F).

## 4 MUESTRA

**4.1** Se prepara la muestra de ensayo para el análisis mecánico como se describe en la norma INV E –106, la cual estará constituida por dos fracciones: una retenida sobre el tamiz de 2 mm (No. 10) y otra que pasa dicho tamiz. Ambas fracciones se ensayarán por separado. La masa del suelo secado al aire y seleccionado para el ensayo, como se indica en la norma INV E–106, deberá ser suficiente para producir las cantidades requeridas para el análisis mecánico, como sigue:

**4.1.1** Para la porción de muestra retenida en el tamiz de 2 mm (No. 10), la masa dependerá del tamaño máximo de partícula, como se indica a continuación:

Diámetro nominal de las partículas mayores	Masa mínima aproximada de la porción, g
9.5 mm (3/8")	500
19.0 mm (3/4")	1000
25.4 mm (1")	2000
38.1 mm (1 ½")	3000
50.8 mm (2")	4000
76.2 mm (3")	5000

**4.1.2** El tamaño de la porción que pasa tamiz de 2 mm (No. 10) será, aproximadamente, de 115 g para suelos arenosos y de 65 g para suelos limosos y arcillosos.

**4.2** En la norma INV E–106, se dan indicaciones para la pesada del suelo secado al aire y seleccionado para el ensayo, para la separación del suelo sobre el tamiz de 2.0 mm (No. 10) por medio del tamizado en seco y lavado, y para la pesada de la fracción lavada y secada, retenida en el tamiz de 2.0 mm (No. 10). Con estas dos masas, se pueden calcular los porcentajes retenido y que pasa el tamiz de 2.0 mm (No. 10), de acuerdo con el numeral 7.1.

*Nota 7: Se pueden comprobar las masas, así como la completa pulverización de los terrones, pesando la porción de muestra que pasa el tamiz de 2 mm (No. 10) y agregándole este valor a la masa de la porción de muestra lavada y secada en el horno, retenida en el mismo tamiz.*

## **5 ANÁLISIS POR MEDIO DE TAMIZADO, DE LA FRACCIÓN RETENIDA EN EL TAMIZ DE 2.0 mm (No. 10)**

---

- 5.1** La porción de muestra retenida en el tamiz de 2.0 mm (No. 10) se separa en una serie de fracciones, usando los tamices de 75 mm (3"), 50 mm (2"), 37.5 mm (1 ½"), 25.0 mm (1"), 19.0 mm (¾"), 9.5 mm (⅜"), 4.75 mm (No. 4) y 2.00 mm (No. 10), o los que sean necesarios, dependiendo de la muestra o de las especificaciones aplicables al material que se ensaya.
- 5.2** En la operación de tamizado manual se sacude(n) el tamiz o tamices con un movimiento lateral y vertical acompañado de vibración y recorriendo circunferencias, de forma que la muestra se mantenga en movimiento continuo sobre las mallas. En ningún caso se permite girar o manipular fragmentos de la muestra para que pasen a través de un tamiz. Al desmontar los tamices se debe comprobar que la operación está terminada; esto se sabe cuando no pasa más del 1 % de la parte retenida al tamizar durante un minuto, operando cada tamiz individualmente. Si quedan partículas atrapadas en la malla, se deben separar con una brocha o cepillo y reunir las con lo retenido en el tamiz. Cuando se utilice una tamizadora mecánica, el resultado se puede verificar usando el método manual.
- 5.3** Se determina la masa de cada fracción en una balanza con una sensibilidad de 0.1 %. La suma de las masas de todas las fracciones y la masa inicial de la muestra no deben diferir en más de 1 %.

## **6 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA FRACCIÓN QUE PASA EL TAMIZ DE 2.0 mm (No. 10)**

---

### **6.1** *Determinación de la corrección compuesta para la lectura del hidrómetro*

- 6.1.1** Las ecuaciones para los porcentajes de suelo que permanecen en suspensión, indicadas en el numeral 7.3.3, se basan en el uso de agua destilada o desmineralizada. Sin embargo, como se usa un agente dispersante en el agua, la gravedad específica del líquido resultante es apreciablemente mayor que la del agua sola.

- 6.1.2** Ambos hidrómetros se deben calibrar a 20° C (68° F) y las variaciones de temperatura producen imprecisiones en las lecturas reales del hidrómetro, las cuales son mayores a medida que la variación con respecto a la temperatura normalizada se hace más grande.
- 6.1.3** Los hidrómetros son graduados por los fabricantes para ser leídos en la parte inferior del menisco formado por el líquido en el vástago del hidrómetro. Puesto que no es posible asegurar que las lecturas de las suspensiones de suelo se harán exactamente en la parte inferior del menisco, éstas se toman en la parte superior y se aplica una corrección.
- 6.1.4** La magnitud neta de las correcciones por los tres motivos mencionados se denomina “corrección compuesta” y se puede determinar de manera experimental.
- 6.1.5** Por conveniencia, se puede elaborar y utilizar, siempre que sea necesario, un gráfico o una tabla de correcciones compuestas, para una serie de diferencias de temperatura de 1° C para el rango esperado de variaciones en la temperatura de ensayo. Las medidas de las correcciones compuestas se pueden efectuar a dos temperaturas extremas que abarquen el rango esperado de temperaturas de ensayo y las correcciones para las temperaturas intermedias se pueden calcular asumiendo una variación lineal recta entre los dos valores observados.
- 6.1.6** Se prepara 1 litro de líquido, compuesto por agua y agente dispersante, en las proporciones previstas para el ensayo de sedimentación (hidrómetro). Se coloca el líquido en el cilindro para sedimentación y se lleva el cilindro al baño de agua de temperatura constante, dispuesto a una de las dos temperaturas que se van a usar. Cuando la temperatura del líquido alcanza la del baño, se inserta el hidrómetro en el cilindro y, luego de un corto lapso para permitir que el hidrómetro también alcance la temperatura del líquido, se toma una lectura en la parte superior del menisco formado en el vástago. Para el hidrómetro 151 H, la corrección compuesta es la diferencia entre esta lectura y uno (1); mientras que para el hidrómetro 152 H es la diferencia entre la lectura y cero (0). A continuación, se llevan el líquido y el hidrómetro a la otra temperatura elegida y se determina de la misma manera la otra corrección compuesta.

## 6.2 Humedad higroscópica

**6.2.1** Cuando una muestra de suelo secado al aire se pesa para el ensayo del hidrómetro, se debe pesar una segunda porción de 10 a 15 g en un pequeño recipiente metálico o de vidrio, la cual se seca en el horno a  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ \text{F}$ ) hasta masa constante y se pesa de nuevo. Se anotan los dos valores y se calcula la humedad higroscópica ( $w$ ) de acuerdo con la norma INV E-122.

## 6.3 Dispersión de la muestra de suelo

**6.3.1** Cuando en el suelo prevalecen las partículas de limo y arcilla, se pesa una muestra de suelo secado al aire de, aproximadamente, 50 g. Si el suelo es predominantemente arenoso, la muestra deberá ser del orden de 100 g.

**6.3.2** Se coloca la muestra en el vaso de vidrio de 250 ml y se cubre con 125 ml de solución de hexametáfosfato de sodio (40 g/litro). Se agita con la varilla de vidrio hasta que el suelo esté humedecido completamente y se permite su saturación durante 16 horas, como mínimo.

**6.3.3** Terminado el período de saturación, se dispersa nuevamente la muestra utilizando uno de los aparatos agitadores (A o B). Si se usa el aparato A, se transfiere la lechada suelo-agua del vaso al recipiente de dispersión mostrado en la Figura 123 - 2, lavando con agua cualquier residuo del vaso dentro del recipiente (nota 8). Si es necesario, se añade más agua para llenar el recipiente de dispersión más arriba de la mitad. En seguida, se agita durante un (1) minuto.

*Nota 8: Se recomienda el uso de una jeringa grande para el manejo del agua durante la operación de lavado. También, se pueden emplear una botella rociadora de agua o una manguera conectada a un tanque con agua destilada a presión.*

**6.3.4** Si se usa el aparato B (Figura 123 - 3), se remueve la tapa de cubierta y se conecta el recipiente a una fuente de aire comprimido, por medio de una manguera plástica. Debe existir un manómetro en la línea, entre el recipiente y la válvula de control. Se abre la válvula de manera que el manómetro marque una presión de 7 kPa (1 lbf/pg<sup>2</sup>) (nota 9). Se transfiere la lechada del vaso al recipiente de dispersión a chorro, lavando con agua cualquier residuo del vaso dentro del recipiente. De ser necesario, se añade agua hasta el volumen ocupado en el recipiente sea, como máximo, 250 ml.

*Nota 9: Se requiere una presión inicial de 7 kPa (1 lbf/pg<sup>2</sup>) para evitar que la lechada suelo-agua penetre dentro de la cámara de aire cuando se está transfiriendo al recipiente de dispersión.*

- 6.3.5** Se coloca la tapa de cubierta sobre el recipiente y se abre la válvula de control de aire hasta que se alcance una presión de 140 kPa (20 lbf/pg<sup>2</sup>). Se dispersa el suelo según su plasticidad, de acuerdo con el tiempo que se muestra a continuación. Luego del período de dispersión, se reduce la presión a 7 kPa (1 lbf/pg<sup>2</sup>).

Índice de plasticidad	Período de dispersión
≤ 5	5 minutos
6 - 20	10 minutos
> 20	15 minutos

*Nota 10: Los suelos que contienen cantidades apreciables de mica se deben dispersar solamente durante un (1) minuto.*

#### 6.4 Ensayo del hidrómetro

- 6.4.1** Terminada la dispersión, se transfiere la lechada suelo-agua al cilindro para sedimentación y se añade agua destilada o desmineralizada, hasta que el volumen total sea 1000 ml.
- 6.4.2** Poniendo la palma de la mano sobre el extremo abierto del cilindro (o colocando un tapón de caucho), se voltea el cilindro patas arriba y viceversa durante un minuto para completar la agitación de la lechada (nota 11). Al término del minuto, se coloca el cilindro sobre una superficie plana y se hacen lecturas a los siguientes intervalos de tiempo, medidos desde el instante en el cual se inicia la sedimentación: 2, 5, 15, 30, 60, 250 y 1440 minutos (nota 12). Si se usa el baño de agua de temperatura controlada, el cilindro se debe colocar dentro de él en algún instante correspondiente al intervalo comprendido entre las lecturas que se deben realizar a los 2 y a los 5 minutos.

*Nota 11: El número de vueltas del cilindro durante el minuto deberá ser de unas 60, contando los dos movimientos descritos como dos vueltas. Cualquier porción de suelo que permanezca en el fondo del cilindro durante las primeras vueltas se debe sacudir vigorosamente mientras el cilindro está en posición vertical.*

*Nota 12: Se pueden usar otros tiempos para las lecturas, si así está especificado.*

- 6.4.3** Cuando se vaya a tomar una lectura en el hidrómetro, se introduce éste de manera cuidadosa dentro de la suspensión unos 20 a 25 segundos antes del momento de la lectura, hasta una profundidad



similar a la que debe tener cuando se realice la lectura. Una vez hecha la lectura, se remueve el dispositivo con todo cuidado y se coloca dentro de una probeta con agua, aplicándole un movimiento rotatorio.

*Nota 13: Es importante remover el hidrómetro inmediatamente después de cada lectura. Las lecturas se deben tomar en la parte superior del menisco formado por la suspensión alrededor del vástago, dada la imposibilidad de tomarlas en la parte inferior.*

**6.4.4** Luego de cada lectura, se inserta un termómetro dentro de la suspensión y se mide la temperatura.

## **6.5** *Análisis por tamizado*

**6.5.1** Luego de tomar la última lectura con el hidrómetro, se transfiere la suspensión a un tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200) y se lava con agua potable hasta que el lavado se vuelva de color claro. En seguida, se transfiere el material retenido en el tamiz a un recipiente adecuado, se seca en el horno a  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ \text{F}$ ) y se le realiza un análisis por tamizado, usando tantos tamices como se desee o los que establezca la especificación del material que se está ensayando.

## **7** CÁLCULOS

---

**7.1** *Valores del análisis de tamizado para la porción retenida en el tamiz de 2.0 mm (No. 10)*

**7.1.1** Se calcula el porcentaje que pasa el tamiz de 2.0 mm (No. 10), dividiendo la masa que pasa dicho tamiz por la masa de suelo originalmente separada a través de él y multiplicando el resultado por 100. Para obtener la masa de la porción pasante por el tamiz de 2.0 mm (No. 10), se resta de la masa original, la masa retenida en dicho tamiz.

**7.1.2** Para comprobar la masa total de suelo que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4), se agrega a la masa del material que pasa el tamiz de 2.0 mm (No. 10), la masa de la fracción que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4) y que queda retenida en el de 2.0 mm (No. 10). Para comprobar la masa del material que pasa por el tamiz de 9.5 mm (3/8"), se agrega a la masa total del suelo que pasa por el tamiz de 4.75 mm (No. 4), la masa de la fracción que pasa el tamiz de 9.5 mm (3/8") y que queda retenida en el de 4.75 mm (No. 4). Para los demás tamices, se continúa el cálculo de la misma manera.

**7.1.3** Para determinar el porcentaje total que pasa por cada tamiz, se divide la masa total que pasa ese tamiz (numeral 7.1.2) por la masa total de la muestra y se multiplica el resultado por 100.

## **7.2** *Factor de corrección por humedad higroscópica*

**7.2.1** Este factor es la relación entre la masa del suelo secado al horno y la masa del suelo seco al aire antes de colocarlo en el horno. Es un número menor de uno (1), excepto cuando no hay humedad higroscópica.

## **7.3** *Porcentajes de suelo en suspensión*

**7.3.1** Se calcula la masa seca al horno del suelo empleado en el ensayo del hidrómetro, multiplicando la masa del suelo seco al aire por el factor de corrección por humedad higroscópica.

**7.3.2** Se calcula la masa de una muestra total representada por la masa de suelo usada en el ensayo del hidrómetro, dividiendo la masa seca utilizada por el porcentaje pasante del tamiz de 2.0 mm (No. 10) y multiplicando el resultado por 100. Este valor será la masa W en la ecuación sobre el porcentaje de suelo que permanece en suspensión.

**7.3.3** El porcentaje de suelo que permanece en suspensión al nivel al cual el hidrómetro mide la densidad de la suspensión, se calcula con alguna de las dos fórmulas que se presentan a continuación, dependiendo del hidrómetro utilizado (nota 14):

**7.3.3.1** Si se empleó el hidrómetro 151 H:

$$P = \left[ \left( \frac{100\,000}{W} \right) \times \frac{G}{(G - G_1)} \right] (R - G_1) \quad [123.1]$$

*Nota 14: La porción que está dentro del paréntesis cuadrado de la ecuación para el hidrómetro 151 H es constante para una serie de lecturas y, por lo tanto, se puede calcular primero, para multiplicarla luego por la porción del paréntesis de la derecha.*

**7.3.3.2** Si se empleó el hidrómetro 152 H:

$$P = \left[ \frac{R \times a}{W} \right] \times 100 \quad [123.2]$$

**7.3.3.3** Los términos de estas dos expresiones significan:

- P: Porcentaje de suelo que permanece en suspensión al nivel al cual midió el hidrómetro la densidad de la suspensión;
- G: Gravedad específica de las partículas del suelo;
- G<sub>1</sub>: Gravedad específica del líquido dentro del cual están suspendidas las partículas del suelo. Se usa un valor numérico de uno (1) en los dos casos en que este valor está colocado en la ecuación del hidrómetro 151 H. En el primero, cualquier variación posible produce un efecto insignificante en el resultado, mientras que en el segundo, la corrección compuesta para R se basa en un valor de uno (1) para G<sub>1</sub>;
- R: Lectura del hidrómetro con la corrección compuesta aplicada (Ver numeral 6.1);
- W: Masa del suelo seco al horno en una muestra de ensayo total representada por la masa de suelo dispersado (Ver numeral 7.3.2), g;
- a: Factor de corrección por aplicar a la lectura del hidrómetro 152 H. Los valores mostrados en la escala del hidrómetro se basan en una gravedad específica de 2.65; por lo tanto, es necesaria una corrección si la gravedad específica del suelo es diferente (Ver Tabla 123 - 1).

Tabla 123 - 1. Valores del factor de corrección (a) para diferentes gravedades específicas de las partículas de suelo

GRAVEDAD ESPECÍFICA	FACTOR DE CORRECCIÓN
2.95	0.94
2.90	0.95
2.85	0.96
2.80	0.97
2.75	0.98
2.70	0.99
2.65	1.00
2.60	1.01
2.55	1.02
2.50	1.03
2.45	1.05

#### 7.4 *Diámetro de las partículas de suelo*

**7.4.1** El diámetro de una partícula correspondiente al porcentaje indicado por una lectura dada del hidrómetro, se debe calcular de acuerdo con la ley de Stokes (nota 15), sobre la base de que una partícula de este diámetro estaba en la superficie de la suspensión al inicio de la sedimentación y se ha asentado al nivel al cual midió el hidrómetro la densidad de la suspensión. De acuerdo con la ley de Stokes (Ver Tabla 123 - 2):

$$D = \sqrt{\left[ \frac{30 \eta}{980 (G - G_1)} \right] \times \frac{L}{T}} \quad [123.3]$$

Donde: D: Diámetro de la partícula, mm;

$\eta$ : Coeficiente de viscosidad del medio de la suspensión (en este caso agua) en Poises (varía con el cambio de temperatura del medio).

Tabla 123 - 2. Valores de profundidad efectiva, basados en hidrómetro y cilindro de tamaños especificados <sup>(1)</sup>

HIDRÓMETRO 151 H		HIDRÓMETRO 152 H			
LECTURA REAL DEL HIDRÓMETRO	PROFUNDIDAD EFECTIVA, L, cm	LECTURA REAL DEL HIDRÓMETRO	PROFUNDIDAD EFECTIVA, L, cm	LECTURA REAL DEL HIDRÓMETRO	PROFUNDIDAD EFECTIVA, L, cm
1	16.3	0	16.3	31	11.2
1.001	16.0	1	16.1	32	11.1
1.002	15.8	2	16.0	33	10.9
1.003	15.5	3	15.8	34	10.7
1.004	15.2	4	15.6	35	10.6
1.005	15.0	5	15.5		
1.006	14.7	6	15.3	36	10.4
1.007	14.4	7	15.2	37	10.2
1.008	14.2	8	15.0	38	10.1
1.009	13.9	9	14.8	39	9.9
1.010	13.7	10	14.7	40	9.7
1.011	13.4	11	14.5	41	9.6
1.012	13.1	12	14.3	42	9.4
1.013	12.9	13	14.2	43	9.2
1.014	12.6	14	14.0	44	9.1
1.015	12.3	15	13.8	45	8.9
1.016	12.1	16	13.7	46	8.8
1.017	11.8	17	13.5	47	8.6
1.018	11.5	18	13.3	48	8.4
1.019	11.3	19	13.2	49	8.3
1.020	11.0	20	13.0	50	8.1
1.021	10.7	21	12.9	51	7.9
1.022	10.5	22	12.7	52	7.8
1.023	10.2	23	12.5	53	7.6
1.024	10.0	24	12.4	54	7.4
1.025	9.7	25	12.2	55	7.3
1.026	9.4	26	12.0	56	7.1
1.027	9.2	27	11.9	57	7.0
1.028	8.9	28	11.7	58	6.8
1.029	8.6	29	11.5	59	6.6
1.030	8.4	30	11.4	60	6.5
1.031	8.1				
1.032	7.8				
1.033	7.6				
1.034	7.3				
1.035	7.0				
1.036	6.8				
1.037	6.5				
1.038	6.2				

<sup>(1)</sup> Los valores de la profundidad efectiva se han calculado a partir de la ecuación:

$$L = L_1 + 1/[2(L_2 - (V_B/A))]$$

- Donde: L: Profundidad efectiva, cm;
- L<sub>1</sub>: Distancia, a lo largo del vástago del hidrómetro, entre la parte superior del bulbo y la marca de lectura del hidrómetro, cm;
- L<sub>2</sub>: Longitud total del bulbo del hidrómetro, cm;
- V<sub>B</sub>: Volumen del bulbo del hidrómetro, cm<sup>3</sup>;
- A: Sección transversal del cilindro de sedimentación, cm<sup>2</sup>.

Los valores usados para calcular los valores de la Tabla 123 - 2 son:

Para ambos hidrómetros:

- L<sub>2</sub> = 14.0 cm
- V<sub>B</sub> = 67.0 cm<sup>3</sup>
- A = 27.8 cm<sup>2</sup>

Para el hidrómetro 151 H:

- L<sub>1</sub> = 10.5 cm para una lectura de 1.000
- = 2.3 cm para una lectura de 1.031

Para el hidrómetro 152 H:

- L<sub>1</sub> = 10.5 cm para una lectura de 0 g/litro
- = 2.3 cm para una lectura de 50 g/litro

- L: Distancia entre la superficie de la suspensión y el nivel al cual se mide su densidad, cm (para un hidrómetro y un cilindro para sedimentación, los valores varían de acuerdo con la lectura del hidrómetro. Esta distancia se conoce como "profundidad efectiva" (ver Tabla 123 - 2));
- T: Lapso transcurrido desde el comienzo de la sedimentación hasta la toma de la lectura, min;
- G: Gravedad específica de las partículas del suelo;
- G<sub>1</sub>: Gravedad específica (densidad relativa) del líquido dentro del cual están suspendidas las partículas del suelo. Su valor se puede tomar igual a 1.000 para todos los fines prácticos.

**7.4.2** Por facilidad de los cálculos, la ecuación del numeral 7.4.1 se puede escribir como:

$$D = K \sqrt{\frac{L}{T}} \quad [123.4]$$

Donde: K: Constante que depende del valor de la gravedad específica del suelo y de la temperatura de la suspensión. Los valores de K se presentan en la Tabla 123 - 3. El valor K no cambia para una serie de lecturas que constituyan un ensayo, mientras que los valores L y T sí varían.

*Nota 15: Puesto que la ley de Stokes considera la velocidad terminal de una sola esfera cayendo dentro de un líquido, los tamaños calculados representan el diámetro de las esferas que caerían a la misma velocidad que las partículas de suelo.*

Tabla 123 - 3. Valores de K para el cálculo del diámetro de las partículas

Temperatura °C	Gravedad específica de las partículas de suelo								
	2.45	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85
16	0.01510	0.01505	0.01481	0.01457	0.01435	0.01414	0.01394	0.01374	0.01356
17	0.01501	0.01486	0.01462	0.01439	0.01417	0.01396	0.01376	0.01356	0.01338
18	0.01492	0.01467	0.01443	0.01421	0.01399	0.01378	0.01359	0.01339	0.01321
19	0.01474	0.01449	0.01425	0.01403	0.01382	0.01361	0.01342	0.01323	0.01305
20	0.01456	0.01431	0.01408	0.01386	0.01365	0.01344	0.01325	0.01307	0.01289
21	0.01438	0.01414	0.01391	0.01369	0.01348	0.01328	0.01309	0.01291	0.01273
22	0.01421	0.01397	0.01374	0.01353	0.01332	0.01312	0.01294	0.01276	0.01258
23	0.01404	0.01381	0.01358	0.01337	0.01317	0.01297	0.01279	0.01261	0.01243
24	0.01388	0.01365	0.01342	0.01321	0.01301	0.01282	0.01264	0.01246	0.01229
25	0.01372	0.01349	0.01327	0.01306	0.01286	0.01267	0.01249	0.01232	0.01215
26	0.01357	0.01334	0.01312	0.01291	0.01272	0.01253	0.01235	0.01218	0.01201
27	0.01342	0.01319	0.01297	0.01277	0.01258	0.01239	0.01221	0.01204	0.01188
28	0.01327	0.01304	0.01283	0.01264	0.01244	0.01225	0.01208	0.01191	0.01175
29	0.01312	0.01290	0.01269	0.01249	0.01230	0.01212	0.01195	0.01178	0.01162
30	0.01298	0.01276	0.01256	0.01236	0.01217	0.01199	0.01182	0.01165	0.01149

Para:  $\eta$  en (g/cm.s);  $\gamma_w$  en (g/cm<sup>3</sup>); L en (cm); T en (min.)

## 7.5 Valores del análisis de tamizado para la porción que pasa el tamiz de 2.0 mm (No. 10)

**7.5.1** El cálculo de los porcentajes que pasan los diferentes tamices usados para tamizar la porción de muestra del ensayo del hidrómetro involucra varios pasos. El primero de ellos consiste en calcular la masa de la fracción que debía haber sido retenida en el tamiz de 2.0 mm (No. 10) si no se hubiera removido. Esta masa es igual al porcentaje total retenido en el tamiz de 2.0 mm (No. 10) (100 menos el porcentaje que pasa), multiplicado por la masa de la muestra total representada

por la masa de suelo usada (calculada como se indica en el numeral 7.3.2), y dividiendo el resultado por 100.

- 7.5.2** A continuación, se calcula la masa total pasante del tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200). Para ello, se suman las masas de todas las fracciones retenidas en los diferentes tamices, incluyendo el de 2.0 mm (No. 10), y restando esta suma de la masa de la muestra total (Ver numeral 7.3.2).
- 7.5.3** Luego, se calcula la masa total que pasa cada uno de los otros tamices, de una manera similar a la descrita en el numeral 7.1.2.
- 7.5.4** Por último, se calculan los porcentajes totales que pasan, dividiendo la masa total pasante por cada tamiz (calculada según se indica en el numeral 7.5.3) por la masa total (calculada como se indica en el numeral 7.3.2) y multiplicando el resultado por 100.

## 7.6 Gráfica

- 7.6.1** Cuando se realiza el ensayo del hidrómetro, se debe elaborar una gráfica con los resultados del ensayo, colocando los diámetros de las partículas en una escala logarítmica de abscisas y los porcentajes menores que los diámetros correspondientes, en una escala aritmética de ordenadas. Si el análisis del hidrómetro no se ha realizado sobre una porción del suelo, la elaboración de la gráfica es opcional, por cuanto los valores se pueden obtener directamente de los resultados tabulados.

*Nota 16: Es recomendable que los resultados se expresen mediante una curva granulométrica en la que se tengan en cuenta, simultáneamente, la fracción de suelo gruesa evaluada mediante el método de tamizado y la fina evaluada con el hidrómetro.*

## 8 INFORME

---

- 8.1** El informe deberá incluir lo siguiente:
- 8.1.1** El tamaño máximo de las partículas contenidas en la muestra.
- 8.1.2** Los porcentajes retenidos y/o que pasan, para cada uno de los tamices utilizados. Los resultados se presentarán en forma tabulada o en forma gráfica (nota 17).



*Nota 17: La tabla y la gráfica representan la gradación de la muestra utilizada. Si antes del ensayo fueron removidas algunas partículas de mayor tamaño, este hecho se debe anotar en el informe, indicando la cantidad y el tamaño máximo del material descartado para la prueba.*

- 8.1.3** Descripción de las partículas de grava y arena (forma y dureza, según la norma INV E-102).
  - 8.1.4** Gravedad específica, si es inusualmente alta o baja.
  - 8.1.5** Dificultades que se hayan presentado al dispersar la fracción que pasa el tamiz de 2.0 mm (No. 10), indicando cualquier cambio en el tipo, dosificación y cantidad de agente dispersante.
  - 8.1.6** Dispositivo de dispersión utilizado y duración del período de dispersión.
- 8.2** Si el material se ha ensayado para verificar el cumplimiento de una especificación determinada, se deberán informar los porcentajes que pasan los tamices indicados en ella. Las fracciones menores de 2.0 mm se deberán leer en la gráfica.
- 8.3** En el caso de materiales que no deben cumplir el requisito granulométrico de ninguna especificación, y donde el suelo está compuesto principalmente por partículas de menos de 4.75 mm, los resultados de pueden leer en la gráfica y reportar de la siguiente manera:

Grava: material que pasa el tamiz de 75 mm (3") y queda retenido en el de 4.75 mm (No. 4)	....%
Arena: material que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4) y queda retenido en el de 75 $\mu$ m (No. 200)	....%
(a) Arena gruesa: material que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4) y queda retenido en el de 2.0 mm (No. 10)	...%
(b) Arena media: Material que pasa el tamiz de 2.0 mm (No. 10) y queda retenido en el de 425 $\mu$ m (No. 40)	...%
(c) Arena fina: Material que pasa el tamiz de 425 $\mu$ m (No. 40) y queda retenido en el de 75 $\mu$ m (No. 200)	...%
Tamaños de limo: entre 75 $\mu$ m y 5 $\mu$ m	...%
Tamaños de arcilla: menores de 5 $\mu$ m (las partículas de menos de 1 $\mu$ m se denominan coloides)	...%

- 8.4** En el caso de materiales que no deben cumplir el requisito granulométrico de ninguna especificación, y donde el suelo contiene suficiente material retenido en el tamiz de 4.75 mm (No. 4) como para requerir un análisis granulométrico de dicha porción, los resultados de pueden presentar de la siguiente manera:

**ANÁLISIS POR TAMICES**

<b>Tamaño tamiz</b>	<b>Porcentaje que pasa</b>
75 mm (3")	.....
50 mm (2")	.....
37.5 mm (1 ½")	.....
25 mm (1")	.....
19 mm (¾")	.....
9.5 mm (3/8")	.....
4.75 mm (No. 4)	.....
2.0 mm (No. 10)	.....
425 µm (No. 40)	.....
75 µm (No. 200)	.....

**ANÁLISIS POR HIDRÓMETRO**

75 µm	.....
5 µm	.....
1 µm	.....

*Nota 18: Los tamices de 2.0 mm (No. 10) y de 425 µm (No. 40) se pueden sustituir por los de 2.36 mm (No.8) y de 300 µm (No. 50)*

**9 NORMAS DE REFERENCIA**

---

ASTM D 422-63 (reaprobada2007)

## DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS

INV E – 125 – 13

### 1 OBJETO

---

- 1.1** Esta norma se refiere a la determinación del límite líquido de los suelos, definido según se indica en la Sección 2.
- 1.2** Se presentan dos métodos para preparar las muestras de prueba: Por vía húmeda, descrito en el numeral 9.1, y por vía seca, como se describe en el numeral 9.2. El método por utilizar deberá ser especificado por el cliente. Si no se especifica ninguno, se empleará la preparación por vía húmeda.
- 1.3** La norma presenta dos métodos para determinar el límite líquido: el Método A, que consiste en un ensayo de varios puntos, el cual se describe en las secciones 10 y 11; y el Método B, consistente en un ensayo de un solo punto, el cual se describe en las secciones 12 y 13. El método por utilizar será especificado por el cliente. Si no se especifica ninguno, se deberá emplear el Método A.
- 1.3.1** El método multipunto es, por lo general, más preciso que el de un solo punto. Se recomienda que aquel se emplee en los casos donde los resultados puedan ser objeto de discusión o cuando se requiera una buena precisión.
- 1.3.2** No se recomienda que el método de un solo punto sea utilizado por operadores inexpertos, debido a requiere que el operador tenga la experiencia suficiente para saber que una muestra de ensayo se encuentra, aproximadamente, en su límite líquido.
- 1.3.3** La correlación a partir de la cual se basan los cálculos del método de un punto puede resultar inválida en ciertos suelos, tales como los orgánicos o los que se presentan en ambiente marino. Se recomienda que el límite líquido de estos suelos se determine mediante el método multipunto.
- 1.4** El método descrito en esta norma se debe aplicar únicamente sobre la porción de suelo que pasa el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40). Por lo tanto, se deberá considerar la contribución relativa de esta fracción de suelo a las propiedades

de la muestra como conjunto, cuando se usen estos ensayos para evaluar las propiedades de un suelo.

- 1.5** A los fines de comparar valores medidos o calculados con límites especificados, el valor medido o calculado se deberá redondear al dígito significativo más próximo al del límite especificado.
- 1.6** Esta norma reemplaza la norma INV E-125-07.

## 2 DEFINICIONES

---

**2.1** Las definiciones específicas aplicadas a esta norma son las siguientes:

- 2.1.1** *Límites de Atterberg* – Originalmente, Albert Atterberg definió seis “límites de consistencia” para los suelos finos: el límite superior del flujo viscoso, el límite líquido, el límite de pegajosidad, el límite de cohesión, el límite plástico y el límite de contracción. En el uso actual de la ingeniería el término se aplica solamente a los límites líquido y plástico y, en algunas referencias, también al límite de contracción. Los límites líquido y plástico de los suelos (junto con el límite de contracción) son mencionados a menudo en conjunto como límites de Atterberg. Estos límites dividen diferentes estados de consistencia de los suelos plásticos.
- 2.1.2** *Consistencia* – Facilidad relativa con la cual se puede deformar un suelo.
- 2.1.3** *Límite líquido (LL,  $w_L$ )* – Contenido de humedad del suelo, expresado en porcentaje, cuando se halla en el límite entre los estados líquido y plástico.

## 3 RESUMEN DEL MÉTODO

---

- 3.1** Se procesa la muestra de suelo para remover cualquier porción retenida en el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40). El límite líquido se determina mediante tanteos, en los cuales una porción de la muestra se esparce sobre una cazuela de bronce que se divide en dos partes con un ranurador, permitiendo que esas dos partes fluyan como resultado de los golpes recibidos por la caída repetida de la cazuela sobre una base normalizada. El límite líquido multipunto, Método A,

requiere 3 o más tanteos sobre un rango de contenidos de agua, cuyos resultados se dibujan para establecer una relación a partir de la cual se determina el límite líquido. El método de un punto, Método B, usa los datos de dos tanteos realizados con un solo contenido de agua, multiplicado el valor obtenido por un factor de corrección.

## 4 IMPORTANCIA Y USO

---

- 4.1** La determinación del límite líquido interviene en varios sistemas de clasificación de suelos, dado que contribuye en la caracterización de la fracción fina de los suelos. El límite líquido, solo o en conjunto con el límite plástico y el índice de plasticidad, se usa con otras propiedades del suelo para establecer correlaciones sobre su comportamiento ingenieril, tales como la compresibilidad, la permeabilidad, la compactabilidad, los procesos de expansión y contracción y la resistencia al corte.
- 4.2** Los límites líquido y plástico de un suelo, junto con su contenido de agua, se usan para calcular su consistencia relativa o índice de liquidez. Además, el índice de plasticidad, junto con el porcentaje de partículas menores de 2  $\mu\text{m}$ , brinda una idea aceptable de la actividad de la fracción fina de un suelo.
- 4.3** El límite líquido de un suelo que contiene cantidades apreciables de materia orgánica disminuye dramáticamente cuando el suelo es secado al horno antes del ensayo. La comparación de los valores de límite líquido de una muestra, antes y después de secada al horno, se puede emplear como una medida cualitativa del contenido de materia orgánica del suelo.

## 5 EQUIPO

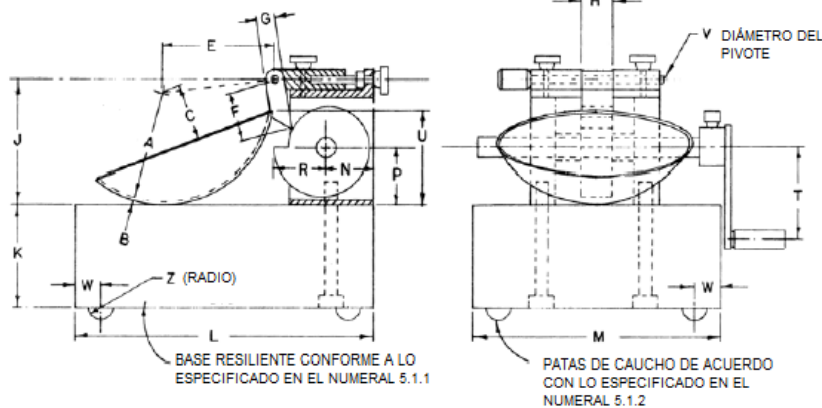
---

- 5.1** *Aparato del límite líquido* – Dispositivo mecánico, consistente en una cazuela de bronce, suspendida de un soporte diseñado para controlar su caída sobre la superficie de un bloque de material resiliente, que sirve como base del aparato. La Figura 125 - 1 muestra las características principales y las dimensiones críticas del dispositivo, el cual puede ser operado manualmente o por medio de un motor eléctrico.

## DIMENSIONES

LETRA	A <sup>Δ</sup>	B <sup>Δ</sup>	C <sup>Δ</sup>	E <sup>Δ</sup>	F	G	H	J <sup>Δ</sup>	K <sup>Δ</sup>	L <sup>Δ</sup>	M <sup>Δ</sup>
mm	54 ± 0.5	2 ± 0.1	27 ± 0.5	56 ± 2.0	32	10	16	60 ± 1.0	50 ± 2.0	150 ± 2.0	125 ± 2.0
LETRA	N	P	R	T	U <sup>Δ</sup>	V	W	Z			
mm	24	28	24	45	47 ± 1.0	3.8	13	6.5			

<sup>Δ</sup> DIMENSIONES ESENCIALES



ANGULO DE LA LEVA (grados)	RADIO DE LA LEVA
0	0.742 R
30	0.753 R
60	0.764 R
90	0.773 R
120	0.784 R
150	0.796 R
180	0.818 R
210	0.854 R
240	0.901 R
270	0.945 R
300	0.974 R
330	0.995 R
360	1.000 R

Figura 125 - 1. Aparato del límite líquido de operación manual

- 5.1.1 Base** – Bloque de un material que presente un rebote resiliente entre 77 y 90 %. Detalles de la medida de la resiliencia de la base se presentan en el Anexo A.
- 5.1.2 Patas de caucho** – Para soportar la base, diseñadas para suministrar aislamiento dinámico de la base con respecto a la superficie de trabajo.
- 5.1.3 Cazuela (copa)** – De bronce, con una masa de 185 a 215 g incluyendo el soporte de la copa.
- 5.1.4 Leva** – Diseñada para elevar la copa de manera suave y continua hasta su altura máxima, sobre una distancia correspondiente a una rotación de la manija de, al menos, 180° sin desarrollar una velocidad ascendente o descendente de la cazuela cuando ésta es levantada por la leva (el movimiento preferido de la manija es el de una curva de levantamiento uniformemente acelerado).
- 5.1.5 Soporte** – Construido de manera que permita el ajuste conveniente y seguro de la altura de caída de la cazuela a 10 mm (0.394"), diseñado de manera que el conjunto de la cazuela y su manivela esté unido al soporte únicamente por medio de un pivote removible. En el dibujo de la Figura 125 - 2 se puede ver la definición y la determinación de la altura de caída de la cazuela.

- 5.1.6** *Accionamiento por motor (opcional)* – Como alternativa a la manivela de operación manual, el dispositivo puede estar equipado con un motor que haga levantar la cazuela a  $2 \pm 0.1$  revoluciones por segundo y que esté aislado del resto del aparato por soportes de caucho u otro medio que evite que la vibración del motor sea transmitida al resto del aparato. El motor debe estar equipado con un interruptor de encendido y apagado y un medio de situar convenientemente la cazuela para el ajuste de la altura de caída. El aparato a motor debe dar los mismos valores para el límite líquido que los obtenidos con el equipo de operación manual.

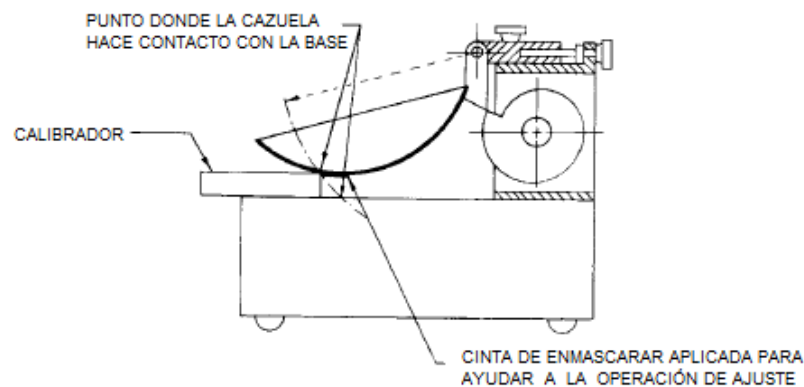


Figura 125 - 2. Calibración de la altura de caída

- 5.2** *Ranurador* – Herramienta plan hecha de plástico o de un metal no corrosivo, con las dimensiones mostradas en la Figura 125 - 3. El ranurador puede tener cualquier diseño, mientras se garantiza que se mantienen sus dimensiones esenciales. El ranurador puede tener, aunque no es obligatorio, un calibrador para ajustar la altura de caída de la cazuela.

*Nota 1: Antes de la adopción de esta norma, se especificaba el empleo de un ranurador curvo, el cual no es tan preciso como el plano, puesto que no controla la profundidad del suelo en la cazuela. Hay algunos datos que indican que el límite líquido determinado a partir del uso de un ranurador plano es ligeramente superior al determinado a partir del ranurador curvo.*

DIMENSIONES

LETRA	A <sup>Δ</sup>	B <sup>Δ</sup>	C <sup>Δ</sup>	D <sup>Δ</sup>	E <sup>Δ</sup>	F <sup>Δ</sup>
mm	2	11	40	8	50	2
	± 0.1	± 0.2	± 0.5	± 0.1	± 0.5	± 0.1
LETRA	G	H	J	K <sup>Δ</sup>	L <sup>Δ</sup>	N
mm	10	13	60	10	60°	20
	MÍNIMO			± 0.05	± 1°	

Δ DIMENSIONES ESENCIALES

NOTA: LA DIMENSIÓN "A" DEBE SER 1.9 - 2.0 Y LA DIMENSIÓN "D" DEBE SER 8.0 - 8.1 CUANDO EL RANURADOR ES NUEVO, CON EL FIN DE PERMITIR UNA VIDA DE SERVICIO ADECUADA

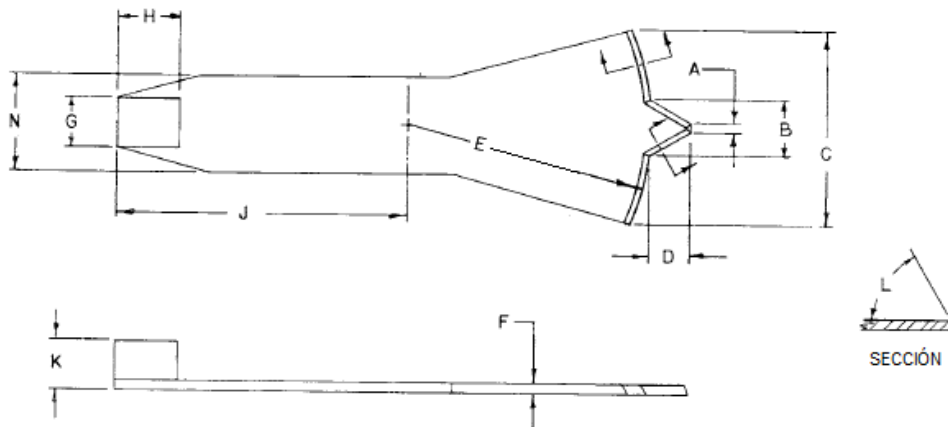


Figura 125 - 3. Ranurador plano

**5.3 Calibrador** – Bloque metálico para ajustar la altura de caída libre de la cazuela, cuyas dimensiones se presentan en la Figura 125 - 4. El diseño del calibrador puede variar, siempre que le permita apoyarse de manera firme sobre la base sin sufrir oscilaciones, y que el lado que hace contacto con la cazuela durante la operación de ajuste de la altura de caída libre de ésta sea recto, de no menos de 10 mm (3/8") de ancho y sin biseles o curvaturas.

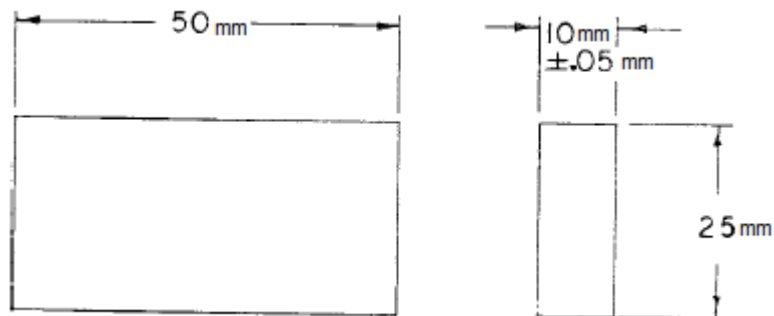


Figura 125 - 4. Calibrador de la altura de caída libre de la cazuela



- 5.4** *Recipientes para la determinación de la humedad* – Recipientes pequeños, hechos de un material resistente a la corrosión, con tapas de ajuste de precisión. Se pueden usar latas de aluminio o de acero inoxidable de 25.4 mm (1") de altura por 50.8 mm (2") de diámetro. Se requiere un recipiente para cada determinación del contenido de agua.
- 5.5** *Balanza* – Con legibilidad de 0.01 g.
- 5.6** *Recipiente para mezclar y almacenar las muestras preparadas* – Durante estas operaciones se debe impedir que la muestra pierda agua y que el recipiente contamine la muestra de cualquier manera. Al efecto, resulta apropiado un recipiente de plástico, vidrio o porcelana de 114 mm (4 ½") de diámetro y una bolsa plástica de tamaño suficiente para envolverlo completamente.
- 5.7** *Espátula* – Una espátula de hoja flexible de unos 75 a 100 mm (3 a 4") de longitud y 20 mm (¾") de ancho.
- 5.8** *Horno* – Un horno termostáticamente controlado para el secado de las muestras, capaz de mantener temperaturas de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ \text{F}$ ).

## 6 MATERIALES

---

- 6.1** *Agua* – Se puede emplear agua destilada o desmineralizada.

## 7 MUESTREO Y ELABORACIÓN DEL ESPÉCIMEN DE ENSAYO

---

- 7.1** Las muestras deben ser representativas de los suelos cuyas características se desean conocer. Las muestras cuyos especímenes se van a preparar usando el método de preparación húmeda (numeral 9.1) se deben conservar con el contenido de agua con el cual fueron tomadas en el terreno hasta el instante de su preparación para el ensayo.
- 7.1.1** Donde las operaciones de muestreo han respetado la estratificación natural de la muestra, los diferentes estratos se deben mantener separados y los ensayos sobre el estrato de interés se realizarán sobre un espécimen que presente la menor contaminación posible de los materiales de los estratos vecinos. Cuando se pretenda usar una mezcla de suelos en la construcción, la muestra de ensayo se deberá

obtener combinando las muestras parciales en las mismas proporciones.

- 7.2** *Espécimen* – Se obtiene una porción representativa de la muestra, suficiente para suministrar de 150 a 200 g de material que pase el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40). Las muestras que fluyen libremente, se pueden reducir por cuarteo. Los suelos cohesivos que no fluyen libremente se deben mezclar completamente con una espátula o un cucharón dentro de un recipiente, tomando como representativa una porción, recogida con el cucharón, de la masa mezclada.

## 8 CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

---

### 8.1 *Verificación del desgaste*

- 8.1.1** *Aparato del límite líquido* – Se comprueba que se encuentre limpio y en buen estado y se verifican los siguientes aspectos:

**8.1.1.1** *Desgaste de la base* – El sitio de la base donde golpea la cazuela debe mostrar una huella de no más de 10 mm (3/8") de diámetro. Si es mayor, la base se debe maquinar para remover los rastros de desgaste, siempre que esta operación no haga que la base presente un espesor menor que el especificado en el numeral 5.1 y se mantengan las otras relaciones dimensionales.

**8.1.1.2** *Desgaste de la cazuela* – La cazuela se debe reemplazar cuando la depresión debida al desgaste que produce el ranurador alcance 0.1 mm (0.004") o cuando su espesor original se haya reducido a la mitad. Se debe verificar que la cazuela se encuentre firmemente adherida al soporte.

**8.1.1.3** *Desgaste del soporte de la cazuela* – Se debe verificar que su pivote no apriete y que no esté desgastado al punto de permitir un juego de más de 3 mm (1/8") en el punto más bajo del aro.

**8.1.1.4** *Desgaste de la leva* – No podrá estar desgastada al punto de que la cazuela golpee la base antes de que el soporte de la cazuela pierda contacto con la leva.

**8.1.1.5 Patas de caucho** – Se deben reemplazar cuando a causa de la edad se vuelvan duras, agrietadas o quebradizas.

**8.1.2 Ranuradores** – Se debe verificar su desgaste de manera regular. La rapidez del desgaste depende del material de su construcción y de los tipos de suelo sobre los cuales se emplean. Los suelos con contenidos significativos de arena fina propician el desgaste rápido; por lo tanto, cuando se ensayen materiales de esta clase, los ranuradores se deberán verificar con mayor frecuencia que cuando se emplean con otros suelos.

*Nota 2: Se puede verificar apropiadamente el ancho de la punta del ranurador usando un amplificador de medición equipado con una escala milimétrica. Este elemento se puede adquirir en muchas compañías que suministran equipos de laboratorio.*

**8.2 Ajuste de la altura de caída libre de la cazuela** – La altura se debe ajustar de manera que la parte de la cazuela que golpea la base se eleve a una altura de  $10 \pm 2$  mm. Ver las Figuras 125 - 2 y 125 - 5 para establecer la ubicación adecuada del calibrador en relación con la cazuela durante el ajuste.

*Nota 3: Un buen procedimiento para ajustar la altura de caída es el siguiente: se coloca una pieza de cinta de enmascarar a través de la parte inferior de la cazuela, paralela al eje del pivote del soporte de la cazuela. El borde de la cinta que queda más alejado del soporte debe bisectar el punto en el cual la cazuela hace contacto con la base. Si la copa es nueva, se coloca un trozo de papel carbón sobre la base y se permite que la cazuela caiga varias veces sobre él para definir el punto de contacto. Se sujeta la cazuela al dispositivo y se gira la manivela hasta que la cazuela se eleva a su máxima altura. Se desliza el calibrador bajo la cazuela desde el frente del aparato y se verifica si hace contacto con ella o con la cinta (ver Figura 125 - 2). Si hace contacto con las dos al mismo tiempo, se considera que la altura de caída es correcta. En caso contrario, se deberá ajustar la cazuela hasta que se logre el contacto simultáneo. El ajuste se verifica girando la manivela a una velocidad de 2 revoluciones por segundo mientras se sostiene el calibrador en posición contra la cinta y la cazuela. Si se oye un ruido de roce o de campanilleo débil sin que la cazuela se eleve del calibrador, se considera que el ajuste es correcto. Si no se escucha el sonido, o la cazuela se separa del calibrador, se deberá ajustar la altura de caída. Si la cazuela se balancea sobre el calibrador durante la operación de verificación, significa que el pivote de la leva está muy desgastado y se deberán reemplazar las partes desgastadas. Terminada la operación de ajuste, se deberá remover la cinta de enmascarar de la cazuela.*



Figura 125 - 5. Ajuste de la altura de caída libre de la cazuela

## 9 PREPARACIÓN DEL ESPÉCIMEN DE ENSAYO

---

**9.1** *Método de preparación por vía húmeda* – Salvo que se especifique que la preparación se debe realizar por vía seca, el espécimen de prueba se deberá preparar como se describe a continuación:

**9.1.1** *Material que pasa en su totalidad por el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40):*

**9.1.1.1** Empleando métodos manuales y visuales, se establece si el espécimen mencionado en el numeral 7.2 tiene poco o ningún material retenido en el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40). Si es el caso, se preparan de 150 a 200 g de material mediante una mezcla íntima con agua en el recipiente de mezclado, usando la espátula. Si se desea, se moja el material con una pequeña cantidad de agua, suficiente para ablandar el material antes de proceder al mezclado. Si se usa el Método A, se ajusta la humedad del suelo de manera de llevarlo a una consistencia que requiera de 25 a 35 golpes de la cazuela para cerrar la ranura (Ver nota 4). Si se usa el método B, la consistencia del suelo debe ser tal, que dé lugar a un número de golpes comprendido entre 20 y 30.

**9.1.1.2** Si durante el mezclado se encuentra que había una pequeña cantidad de material de tamaño mayor a 425  $\mu\text{m}$ , esas partículas se deberán remover manualmente, si resulta posible. Si la remoción a mano no es factible, se deberán retirar esos pequeños porcentajes del material grueso (siempre que su proporción no supere el 15 %) trabajando el material sobre el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40). Para efectuar este procedimiento, se usará una lámina de caucho u otro elemento que no distorsione el tamiz ni degrade el material que quedaría retenido si se usara el método descrito en el numeral 9.1.2. En caso de que se detecte un porcentaje más elevado de partículas gruesas o no se considere práctico removerlas como se acaba de describir, la muestra se deberá lavar como se describe en el numeral 9.1.2. Si las partículas gruesas halladas durante el mezclado son concreciones, conchillas u otras partículas frágiles, ellas no se deberán partir para obligarlas a pasar el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40), sino que se deberán remover de manera manual o mediante lavado.

**9.1.1.3** Se coloca el material preparado en el recipiente para mezcla y almacenamiento, se verifica su consistencia (se efectúan ajustes si se requieren), se cubre para prevenir pérdidas de humedad y se deja en reposo durante no menos de 16 horas (toda la noche). Cumplido este plazo, el suelo se remezcla antes de proceder al ensayo.

*Nota 4: El tiempo necesario para mezclar un suelo de manera adecuada es muy variable, pues depende de su plasticidad y su contenido inicial de agua. En el caso de arcillas duras y pesadas se pueden requerir hasta 30 minutos.*

**9.1.2** *Material que contiene partículas retenidas en el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40):*

**9.1.2.1** Se coloca el espécimen descrito en el numeral 7.2 dentro de un recipiente, con una cantidad de agua suficiente para cubrirlo y se permite que se empape hasta que se ablanden todos los terrones y no haya finos adheridos a las partículas gruesas (nota 5).

*Nota 5: En algunos casos, los cationes de las sales presentes en el agua potable se intercambian con los cationes del suelo, alterando significativamente los resultados del ensayo. A menos que se tenga la certeza de la inexistencia de dichos cationes en el agua potable, se deberá usar agua destilada o desmineralizada en las operaciones de inmersión y lavado. Como regla general, no se permite el empleo de agua que contenga más de 100 mg/l. de sólidos disueltos.*

**9.1.2.2** Si el material contiene una gran cantidad de partículas retenidas en el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40), la operación de lavado que se describe en seguida se deberá realizar en incrementos, lavando una cantidad no mayor de 500 g (1 lb) en cada ocasión. Se coloca el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40) en el fondo de un recipiente limpio y se vierte la mezcla de suelo-agua sobre el tamiz, cuidando que no se produzca ninguna pérdida. Si hay presentes partículas de grava o arena, ellas se deberán enjuagar, tantas veces como sea posible, con pequeñas cantidades de agua tomadas de una botella de lavado, descartándolas con posterioridad. Un medio alternativo consiste en encajar el tamiz de 2.0 mm (No. 10) sobre el de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40) y verter la mezcla de suelo-agua sobre aquél, enjuagando el material y retirando las partículas mayores de 2 mm. Luego de lavar y remover tanto material grueso como resulte posible, se agrega agua al recipiente en cantidad suficiente para que cubra la superficie de la malla

del tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40) al menos 13 mm ( $\frac{1}{2}$ " ). Se agita la mezcla revolviéndola con los dedos y formando remolinos mientras el tamiz se mueve hacia arriba y hacia abajo, para separar todo material fino de las partículas gruesas. Los terrones que no se hayan desleído se deberán disgregar, frotándolos con suavidad sobre el tamiz con las yemas de los dedos. La operación de lavado se completa levantando el tamiz por encima de la superficie del agua y enjuagando el material retenido con una pequeña cantidad de agua limpia. El material que quede retenido en el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40) se deberá descartar.

- 9.1.2.3** Se reduce la humedad del material que pasa el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40) hasta que se acerque al límite líquido. Esta reducción se puede llevar a cabo por alguno de los métodos que se describen a continuación o por una combinación de ellos: (a) exponiéndolo a corrientes de aire a temperatura ambiente, (b) exponiéndolo a corrientes de aire tibio por medio de un secador de pelo, (c) decantando el agua clara de la superficie de la suspensión, (d) filtrándolo en un embudo Büchner o usando filtros de vela, o (e) drenándolo en un colador o en un plato de yeso de Paris forrado con un papel filtro resistente a la humedad. Si se emplea el plato, se deberá tener la precaución de que nunca se sature tanto como para que no logre absorber agua en su superficie. El plato se deberá secar completamente entre usos sucesivos. Durante la evaporación y el enfriamiento, el material se deberá agitar a menudo para evitar el sobreseco de los bordes y picos de las partículas de suelo en la superficie de la mezcla. Para materiales que contengan sales solubles, se usarán los métodos (a) o (b), con el fin de evitar la eliminación de las sales del espécimen de prueba.
- 9.1.2.4** Cuando corresponda, se remueve el material retenido sobre el papel de filtro. Se mezcla completamente el material en el recipiente de mezcla, usando una espátula. El contenido de agua de la mezcla se deberá ajustar, de ser necesario, añadiendo pequeños incrementos de agua destilada o desmineralizada o permitiendo que se seque a temperatura ambiente mientras se agita. Si se va a usar el método A, el material deberá encontrarse con un contenido de agua tal, que requiera entre 25 y 35 golpes de la cazuela para cerrar la

ranura. Si se va a emplear el método B, la humedad deberá corresponder a un número de golpes comprendido entre 20 y 30. De ser necesario, se coloca el material mezclado en el recipiente de almacenamiento, cubriéndolo para evitar pérdidas de humedad y dejándolo en reposo por un período no menor de 16 horas, luego del cual el suelo se deberá remezclar antes de proceder al ensayo.

## 9.2 *Método de preparación por vía seca:*

- 9.2.1 El espécimen, obtenido según se describe en el numeral 7.2, se seca a temperatura ambiente o en un horno a una temperatura que no exceda de 60° C (140° F), hasta que los terrones de suelo se puedan disgregar con facilidad y su apariencia sea completamente seca.
- 9.2.2 Se pulveriza el material en un mortero empleando una maja forrada en caucho u otro procedimiento que no cause rotura de las partículas individuales del suelo. Cuando las partículas gruesas halladas durante el proceso correspondan a concreciones, conchillas u otros materiales frágiles, ellas no se deben triturar para obligarlas a pasar por el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40), sino que se deben remover manualmente o mediante otro medio como, por ejemplo, el lavado. Si se emplea este último, se procederá como se indica en los numerales 9.1.2.1 a 9.1.2.4.
- 9.2.3 Se separa el material a través del tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40), sacudiendo el tamiz manualmente para asegurar la separación de la fracción fina. El material que quede retenido en el tamiz se vuelve a procesar en el mortero y se tamiza nuevamente. El proceso se detiene cuando la mayor parte del material fino se ha desagregado y el retenido en el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40) está compuesto únicamente por partículas individuales.
- 9.2.4 El material retenido en el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40) se coloca en un recipiente y se sumerge en una pequeña cantidad de agua. La mezcla formada se pasa por el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40), capturando en un recipiente de lavado el agua y los finos suspendidos que contenga. Se vierte esta suspensión en el recipiente que contiene el suelo seco que previamente se pasó por el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40). Se descarta todo material que haya quedado retenido en este tamiz.
- 9.2.5 A continuación, se procede como se indica en los numerales 9.1.2.3 y 9.1.2.4.

## MÉTODO A – DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO CON VARIOS PUNTOS DE ENSAYO

### 10 PROCEDIMIENTO

- 10.1** Se remezcla completamente el espécimen, ajustando su contenido de agua para que adquiera la consistencia requerida para que sean necesarios entre 25 y 35 golpes de la cazuela para cerrar la ranura que se forma en el suelo. Se coloca una cantidad adecuada de suelo en la cazuela encima del punto donde ésta descansa en la base y se comprime y extiende con la espátula para nivelarla y, a la vez, dejarla con una profundidad de 10 mm en el punto de su máximo espesor (Figura 125 - 6). Se debe usar el menor número posible de pasadas con la espátula, evitando atrapar burbujas de aire en la masa de suelo. El suelo excedente se debe devolver al recipiente mezclador, el cual se debe tapar con el fin de retener la humedad de la muestra.



Figura 125 - 6. Colocación del suelo dentro de la cazuela

- 10.2** El suelo colocado sobre la cazuela de bronce se divide con una pasada firme del ranurador, hundiendo el lado biselado de éste hacia adelante en una línea que va desde el punto más alto hasta el más bajo del borde de la cazuela. Al hacer la ranura, se sostiene el ranurador contra la superficie de la cazuela y se forma un arco, manteniendo el ranurador perpendicular a la superficie de la cazuela durante su movimiento (Ver Figura 125 - 7). En suelos en los que no se pueda hacer la ranura en una sola pasada sin desgarrarlos, la ranura se corta con varias pasadas del ranurador. También, se puede hacer una ranura ligeramente menor usando una espátula y usando luego el ranurador hasta completar la dimensión deseada. Se debe tener un cuidado extremo, con el fin de evitar que la pasta de suelo se deslice sobre la superficie de la cazuela.



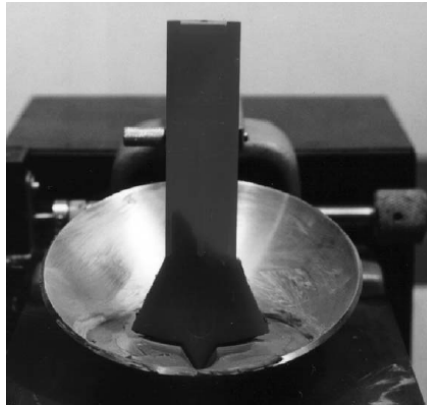


Figura 125 - 7. Ubicación correcta del ranurador para la formación de la ranura

- 10.3** Se verifica que no haya restos de suelo ni en la base ni en la parte inferior de la cazuela. Entonces, se levanta y golpea la cazuela girando la manija a una velocidad de 1.9 a 2.1 revoluciones por segundo, hasta que las dos mitades de la pasta de suelo se pongan en contacto en el fondo de la ranura a lo largo de una distancia de cerca de 13 mm ( $\frac{1}{2}$ " ) (ver Figuras 125 - 8.a y 125 - 8.b). Por ningún motivo se deberá sostener la base del equipo con una mano mientras se gira la manivela.

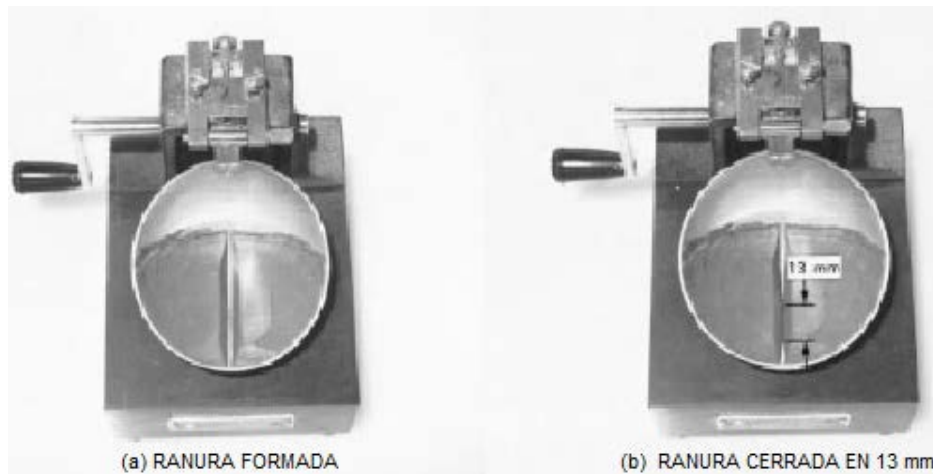


Figura 125 - 8. Ranura antes y después de cerrarse

- 10.4** Se debe verificar que la ranura no se haya cerrado de manera prematura a causa de una burbuja de aire atrapada en el suelo. Ello se hace observando que ambos lados de la ranura hayan fluido de manera similar. Si no fue así, se deberá re conformar el suelo en la cazuela, añadiendo una pequeña cantidad de éste para reponer la porción perdida durante el ranurado y se repiten los pasos 10.1 a 10.3. Si el suelo se desliza sobre la superficie de la cazuela, se deberán repetir los pasos 10.1 a 10.3 empleando una humedad mayor. Si

luego de varios ensayos con contenidos de agua sucesivamente mayores, la pasta de suelo se continúa deslizando en la cazuela o si el número requerido de golpes para cerrar la ranura es siempre menor de 25, se informa que no es posible determinar el límite líquido y que el suelo es no plástico (NP), sin que sea necesario realizar el ensayo de límite plástico.

- 10.5** Se registra el número de golpes, N, requerido para cerrar la ranura en la longitud indicada en el numeral 10.3. Se saca una tajada de suelo, aproximadamente del ancho de la espátula, tomando parte de uno y otro lado y en ángulo recto con la ranura, incluyendo la porción de ésta en la cual se hizo contacto y se coloca en un recipiente de masa conocida y se tapa.
- 10.6** Se transfiere a la vasija de mezclado el suelo que sobró en la cazuela de bronce. La cazuela y el ranurador se deben lavar y secar, para tenerlas listas para el tanteo siguiente.
- 10.7** Se remezcla el suelo restante en la vasija, agregándole agua suficiente para ponerlo en un estado de mayor fluidez y se repiten los pasos 10.1 a 10.6. La finalidad de este procedimiento es obtener muestras con consistencias tales, que al menos una de las determinaciones del número de golpes requeridos para cerrar la ranura del suelo se halle en cada uno de los siguientes intervalos: 25–35; 20–30 y 15–25.
- 10.8** Se toma el recipiente con la porción de suelo (Ver numeral 10.5), se pesa y se anota el valor obtenido. Se coloca en seguida dentro del horno a  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ \text{F}$ ) hasta obtener una masa constante y se vuelve a pesar tan pronto como se haya enfriado y antes de que pueda haber absorbido humedad higroscópica. Se anota esta masa, así como la pérdida de masa debida al secado. La determinación de la masa inicial (recipiente más porción de suelo húmedo) se deberá realizar inmediatamente se termine el ensayo. Si éste se interrumpe por más de 15 minutos, la masa se deberá determinar en el momento de la interrupción.

## 11 CÁLCULOS

---

- 11.1** Se calcula el contenido de agua de cada porción del suelo, expresándolo como porcentaje de la masa del suelo secado en el horno, como sigue:

$$\text{Contenido de agua} = \frac{\text{Masa del agua}}{\text{Masa del suelo secado al horno}} \times 100 \quad [125.1]$$

- 11.2** *Preparación de la curva de fluidez* – La "curva de fluidez", que representa la relación entre el contenido de humedad y el correspondiente número de golpes de la cazuela de bronce, se dibuja en un gráfico semi-logarítmico, con el contenido de agua como ordenada en la escala aritmética y el número de golpes como abscisa en la escala logarítmica. La curva de fluidez es una línea recta promedio que pasa tan cerca, como sea posible, de los tres o más puntos dibujados.
- 11.3** *Límite líquido* – El contenido de agua correspondiente a la intersección de la curva de fluidez con la abscisa de 25 golpes se toma como Límite Líquido del suelo y se redondea al número entero más cercano.

*Nota 6: Se pueden usar métodos de cómputo sustitutivos del método gráfico, para ajustar los datos a una línea recta y determinar el límite líquido.*

## MÉTODO B – DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO A PARTIR DE UN SOLO PUNTO DE ENSAYO

### 12 PROCEDIMIENTO

---

- 12.1** Se procede como se ha indicado en los numerales 10.1 a 10.5, excepto que la humedad del suelo deberá corresponder a un número de golpes entre 20 y 30 para cerrar la ranura de suelo en la cazuela. Si al hacer la prueba se obtienen más de 30 golpes o menos de 20, se deberá ajustar la humedad del suelo y repetir el ensayo.
- 12.2** Inmediatamente después de recoger la muestra para determinar la humedad (como se describió en el numeral 10.5), se recupera la forma del suelo en la cazuela añadiendo una pequeña cantidad de él para recuperar la cantidad perdida a causa del ranurado y de la toma de la porción para hallar la humedad, y se repiten los pasos 10.2 a 10.5.
- 12.3** Si el cierre de la segunda ranura requiere el mismo número de golpes que la primera o no hay más de dos golpes de diferencia, se toma una porción del suelo para verificar su humedad. Si la diferencia es de más de dos golpes, el suelo se deberá remezclar en su totalidad y se repetirá el procedimiento, comenzando por el paso 12.1, hasta que el número de golpes requerido para el cierre de la ranura entre una y otra prueba no difiera en más de dos.

**13 CÁLCULOS**

**13.1** Se calcula el contenido de humedad de cada porción del suelo, de la misma manera descrita para las muestras del método A.

**13.2** Se calcula el límite líquido de cada porción con alguna de las dos fórmulas siguientes:

$$LL_N = w_N \times \left[ \frac{N}{25} \right]^{0.121} \quad [125.2]$$

O:

$$LL_N = K \times w_N \quad [125.3]$$

Donde:  $LL_N$ : Límite líquido a partir de un punto, para un tanteo, %;

$N$ := Número de golpes para que se cierre la ranura en un tanteo;

$w_N$ : Contenido de agua para un tanteo;

$K$ : Factor de corrección (Tabla 125 - 1).

Tabla 125 - 1. Factores de corrección para obtener el límite líquido a partir de la humedad y del número de golpes que causan el cierre de la ranura

NÚMERO DE GOLPES N	FACTOR PARA LÍMITE LÍQUIDO K
20	0.973
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

**13.3** Se tomará como límite líquido del suelo el promedio de los valores obtenidos en los dos tanteos, valor que se deberá aproximar al entero más cercano. Si la diferencia entre los dos valores redondeados es mayor de uno (1), se repetirán

el procedimiento descrito en la Sección 12 y los cálculos descritos en los numerales 13.1 y 13.2.

## **14 NORMAS DE REFERENCIA**

---

ASTM D 4318 – 10

### **ANEXO A (Aplicación obligatoria)**

#### **PRUEBA DE RESILIENCIA DE LA BASE DEL EQUIPO DE LÍMITE LÍQUIDO**

---

- A.1** El aparato para medir la resiliencia de la base del equipo de límite líquido se enseña en la Figura 125A - 1. El aparato consiste en un tubo y su tapa de acrílico transparente, una bola pulida de acero de 8 mm de diámetro y una barra pequeña imantada. El cilindro debe estar fijado permanentemente a la tapa o atornillado a ésta como se ve en el dibujo. La barra pequeña imantada se sostiene por dentro de la tapa y la bola de acero se fija a la barra dentro del hueco de la tapa. Se coloca entonces el cilindro encima de la base que se va a probar. Sosteniendo el tubo hasta tocar ligeramente la base del equipo del límite líquido con una mano, se suelta la bola retirando el imán fuera de la tapa. Se deben usar las marcas de la escala que están en la parte exterior del cilindro para determinar el punto más alto alcanzado por la parte inferior de la bola al rebotar. Se repite la caída de la bola por lo menos 3 veces, colocando el probador en diferente posición para cada caída. El promedio del rebote de la bola de acero, expresado como porcentaje del total de la caída, es igual a la resiliencia de la base del equipo. Las pruebas de resiliencia de la base se deben realizar a temperatura ambiente.

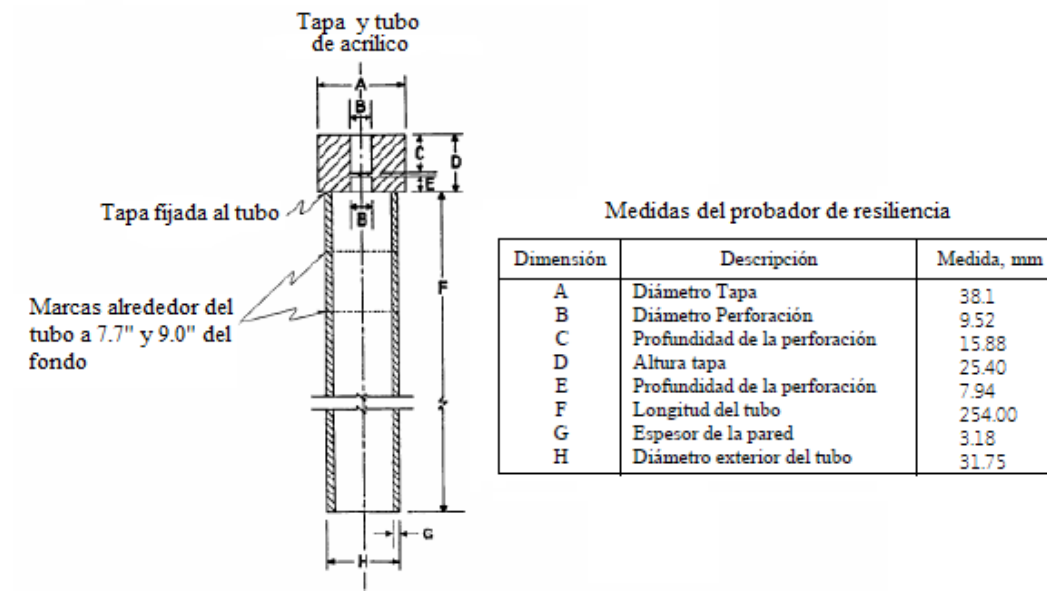


Figura 125A - 1. Probador de resiliencia

# LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS

INV E – 126 – 13

## 1 OBJETO

---

- 1.1 Esta norma de ensayo se refiere a la determinación del límite plástico y del índice de plasticidad de los suelos, los cuales se definen en la Sección 2.
- 1.2 El método descrito en esta norma se debe aplicar únicamente sobre la porción de suelo que pasa el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40). Por lo tanto, se deberá considerar la contribución relativa de esta fracción de suelo en las propiedades de la muestra como conjunto, cuando se usen los valores de límite plástico e índice de plasticidad para evaluar las propiedades de un suelo.
- 1.3 El ensayo del límite plástico se realiza sobre el mismo material preparado para la determinación del límite líquido.
- 1.4 El secado previo del material en horno, estufa o al aire, puede cambiar (generalmente disminuir) el límite plástico de un suelo con material orgánico, aunque este cambio puede ser poco importante.
- 1.5 A los fines de comparar valores medidos o calculados con límites especificados, el valor medido o calculado se deberá redondear al dígito significativo más próximo al del límite especificado.
- 1.6 Esta norma reemplaza la norma INV E–126–07.

## 2 DEFINICIONES

---

- 2.1 Las definiciones específicas aplicables a esta norma, son las siguientes:
  - 2.1.1 *Límites de Atterberg* – Originalmente, Albert Atterberg definió seis “límites de consistencia” para los suelos finos: el límite superior del flujo viscoso, el límite líquido, el límite de pegajosidad, el límite de cohesión, el límite plástico y el límite de contracción. En el uso actual de la ingeniería el término se aplica solamente a los límites líquido y plástico y, en algunas referencias, también al límite de contracción. Estos límites representan las fronteras entre diversos estados de consistencia de los suelos plásticos.

- 2.1.2** *Consistencia* – Facilidad relativa con la cual se puede deformar un suelo.
- 2.1.3** *Límite plástico (LP,  $w_p$ )* – Contenido de agua del suelo, expresado en porcentaje, cuando se halla en el límite entre los estados plástico y semisólido.
- 2.1.4** *Índice de plasticidad (IP)* – Rango de contenidos de agua, dentro del cual un suelo se comporta plásticamente. Numéricamente, es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

### 3 RESUMEN DEL MÉTODO

---

- 3.1** El límite plástico se determina presionando de manera repetida una pequeña porción de suelo húmedo, de manera de formar rollos de 3.2 mm (1/8") de diámetro, hasta que su contenido de agua se reduce a un punto en el cual se produce el agrietamiento y/o desmoronamiento de los rollos. El límite plástico es la humedad más baja con la cual se pueden formar rollos de suelo de este diámetro, sin que ellos se agrieten o desmoronen.
- 3.2** El índice de plasticidad se calcula sustrayendo el límite plástico del límite líquido.

### 4 IMPORTANCIA Y USO

---

- 4.1** La determinación del límite plástico interviene en varios sistemas de clasificación de suelos, dado que contribuye en la caracterización de la fracción fina de ellos. El límite plástico, solo o en conjunto con el límite líquido y el índice de plasticidad, se usa con otras propiedades del suelo para establecer correlaciones sobre su comportamiento ingenieril, tales como la compresibilidad, la permeabilidad, la compactabilidad, los procesos de expansión y contracción y la resistencia al corte.
- 4.2** Los límites líquido y plástico de un suelo, junto con su contenido de agua, se usan para expresar su consistencia relativa o índice de liquidez. Además, el índice de plasticidad, junto con el porcentaje de partículas menores de 2  $\mu\text{m}$ , permite estimar la actividad de la fracción fina de un suelo.



## 5 EQUIPO Y MATERIALES

---

- 5.1** *Placa de vidrio esmerilado* – De tamaño suficiente para formar cilindros de suelo (rollos) en el ensayo.
- 5.2** *Aparato de enrollamiento para determinar el límite plástico (opcional)* – Un aparato hecho de acrílico, de las características y dimensiones que se muestran en las Figuras 126 - 1 y 126 - 2.
- 5.3** *Papel para el aparato de enrollamiento* – Papel mate que impida la adhesión de materias extrañas al suelo (fibras, fragmentos de papel, etc.) durante el proceso de enrollado. Este papel deberá adherirse firmemente a las placas superior e inferior del aparato descrito en el numeral 5.2.
- 5.4** *Espátula* – De hoja flexible, de unos 10 a 13 cm (4 a 5") de longitud y 2 cm ( $\frac{3}{4}$ " de ancho).
- 5.5** *Cápsula para evaporación* – De porcelana, o similar, de 115 mm (4½") de diámetro, para mezcla y almacenamiento de las muestras de suelo.
- 5.6** *Balanza* – De 100 g de capacidad, con legibilidad a 0.01 g.
- 5.7** *Cápsulas para la determinación de humedad.*
- 5.8** *Botella plástica* – Con un dispositivo adaptado en su boca para aplicar agua en forma de rocío.
- 5.9** *Horno* –Termostáticamente controlado, regulable a  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ \text{F}$ ).
- 5.10** *Tamiz* – De 425  $\mu\text{m}$  (No. 40).
- 5.11** *Agua* – Se puede emplear agua destilada o desmineralizada.



Figura 126 - 1. Aparato de enrollamiento para determinar el límite plástico

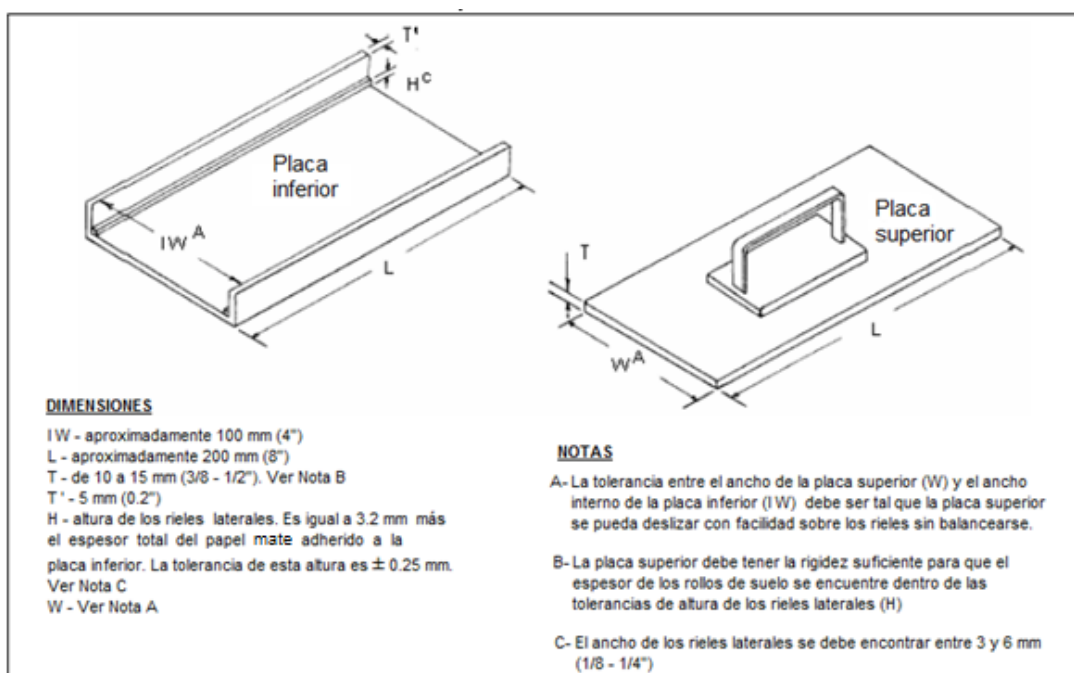


Figura 126 - 2. Dimensiones del aparato de enrollamiento para determinar el límite plástico

## 6 MUESTREO Y ELABORACIÓN DEL ESPÉCIMEN DE ENSAYO

- 6.1 El muestreo y la elaboración de los especímenes de ensayo para la determinación del límite plástico se harán de acuerdo con lo que resulte aplicable de los procedimientos descritos en la Sección 7 de la norma INV E-125.

## 7 PREPARACIÓN DEL ESPÉCIMEN DE ENSAYO

---

- 7.1** Se toma una porción de 20 g, o un poco más, del suelo preparado para el ensayo del límite líquido, ya sea luego del segundo mezclado antes del ensayo o del suelo que sobre al terminar la prueba del límite líquido (norma INV E-125). Se reduce el contenido de agua de esta porción de suelo hasta que alcance una consistencia que permita enrollarlo sin que se pegue a las manos, extendiéndolo o mezclándolo continuamente sobre la placa de vidrio o en el recipiente de mezcla y almacenamiento. El proceso de secado se puede acelerar, exponiendo el suelo a la corriente de aire de un ventilador eléctrico o aplicándole un papel secante que no añada fibras al suelo.

## 8 PROCEDIMIENTO

---

- 8.1** Del espécimen de ensayo, se selecciona una porción de 1.5 a 2.0 g con la cual se forma una masa elipsoidal.
- 8.2** Se forman rollos con la masa de suelo, siguiendo alguno de los dos procedimientos que se mencionan a continuación.

- 8.2.1** *Mediante el método manual (Figura 126 - 3)* – Se hace rodar la masa de suelo entre la palma de la mano o los dedos y la placa de vidrio, con la presión estrictamente necesaria para formar un rollo de diámetro uniforme en toda su longitud (nota 1). El rollo se debe adelgazar más con cada rotación, hasta que su diámetro alcance 3.2 mm (1/8"), tomándose para ello no más de dos minutos (nota 2). La presión requerida de la mano o de los dedos varía dependiendo del tipo de suelo, debiendo incrementarse a medida que la plasticidad del suelo es mayor. Los suelos frágiles de baja plasticidad se enrollan mejor bajo el borde exterior de la palma de la mano o bajo la base del dedo pulgar.

*Nota 1: Una velocidad normal de enrollado para la mayoría de los suelos es de 80 a 90 recorridos por minuto, entendiéndose por recorrido un movimiento completo de la mano hacia adelante y hacia atrás, regresando a la posición inicial. Esta velocidad de enrollado puede ser disminuida cuando se realice el ensayo sobre suelos muy frágiles.*

*Nota 2: Una varilla o tubo de 3.2 mm (1/8") de diámetro resulta de utilidad, como medio para verificar el momento en que el rollo de suelo alcanza el diámetro apropiado.*



Figura 126 - 3. Método manual para formar rollos de suelo

**8.2.2** *Empleando el aparato de enrollamiento* – Se adhieren hojas de papel mate liso a las placas superior e inferior del aparato plástico de enrollamiento. Se coloca la masa de suelo sobre la placa inferior, en el punto medio entre los rieles de deslizamiento. Se coloca la placa superior en contacto con la masa (o masas, ver nota 3) de suelo. Simultáneamente, se aplica una ligera presión hacia abajo y se da a la placa superior un movimiento de vaivén, de manera que entre en contacto con los rieles laterales antes de que pasen dos minutos (notas 1 y 3). No se debe permitir que el suelo toque los rieles laterales durante el proceso de enrollamiento. Si esto ocurre, se debe enrollar una masa de suelo más pequeña (aun si ella resulta menor que la mencionada en el numeral 8.1).

*Nota 3: En la mayoría de los casos, se pueden enrollar simultáneamente dos masas de suelo en el aparato.*

**8.3** Cuando el diámetro del rollo llegue a 3.2 mm, éste se divide en varios trozos. Se juntan los trozos y se comprimen entre los pulgares y los demás dedos de ambas manos formando una masa uniforme de forma elipsoidal y se enrolla de nuevo. Se repite este procedimiento, partiendo, juntando, amasando y enrollando, hasta que el rollo de 3.2 mm de diámetro se desmorone bajo la presión requerida para el enrollamiento y el suelo no pueda ser enrollado más en cilindros de 3.2 mm de diámetro. No es importante si el rollo se parte en rollos de longitud muy corta. Cada uno de estos rollos cortos se deberá enrollar hasta alcanzar un diámetro de 3.2 mm. Lo único que se requiere para continuar el ensayo, es que al juntar estos rollos se pueda volver a formar una masa elipsoidal y luego crear nuevos rollos. En ningún momento el operador deberá intentar producir la rotura a un diámetro exacto de 3.2 mm formando un rollo de este tamaño y tratando de producir entonces la desintegración, mediante una disminución de la velocidad de enrollamiento y/o de la presión

manual, y continuando el enrollamiento sin más deformación hasta que el rollo se desbarate. Está permitido, sin embargo, reducir la cantidad total de deformación de un suelo débilmente plástico, haciendo que el diámetro inicial de la masa elipsoidal sea próximo al diámetro final requerido de 3.2 mm. Es posible que el desmoronamiento de un rollo ocurra cuando éste tenga un diámetro mayor de 3.2 mm. Este podrá ser considerado un punto final satisfactorio, siempre y cuando el suelo haya podido ser enrollado previamente en un cilindro de 3.2 mm de diámetro. El desmoronamiento se manifiesta de maneras diferentes en distintos tipos de suelos. Algunos suelos se desintegran en numerosas partículas pequeñas y otros pueden formar una capa exterior tubular que comienza a separarse desde ambos extremos; la separación progresa hacia el centro y, finalmente, el rollo se desintegra. Los suelos de arcilla pesada requieren mucha presión para deformar el rollo, especialmente cuando se aproximan al límite plástico, partiéndose finalmente en una serie de segmentos en forma de barril, de 3.2 a 9.5 mm (1/8 a 3/8") de longitud aproximada.

- 8.4** Se recogen las porciones de suelo desmoronado y se colocan en un recipiente adecuado de masa conocida. Si el recipiente con el suelo no se pesa en ese momento, se deberá tapar inmediatamente.
- 8.5** Se seleccionan otras porciones de 1.5 a 2 g del espécimen del límite plástico y se repiten las operaciones descritas en los numerales 8.2 a 8.4 hasta que el recipiente tenga, cuando menos, 6 g de suelo.
- 8.6** Las operaciones descritas en los numerales 8.1 a 8.5 se deberán repetir para obtener otro recipiente que contenga al menos 6 g de suelo.
- 8.7** Se determinan los contenidos de agua de los suelos contenidos en los dos recipientes, de acuerdo con la norma INV E-122 y se anotan los resultados.

## 9 CÁLCULOS

---

- 9.1** Se calcula el promedio de los dos contenidos de agua (tanteos del límite plástico) y el valor obtenido se redondea al entero más cercano. Este valor es el límite plástico (LP). El ensayo se deberá repetir, si la diferencia entre los límites plásticos de los dos tanteos supera el rango de aceptabilidad para los resultados de dos ensayos, efectuados por un solo operador; es decir, 1.4 puntos porcentuales ( $2.8 \times 0.5$ ). Ver Tabla 126 - 1.
- 9.2** Se calcula el índice de plasticidad (IP), como sigue:

$$IP = LL - LP$$

[126.1]

Donde: LL: Límite líquido (número entero);

LP: Límite plástico (número entero).

- 9.3** Tanto el LL como el LP son números enteros. Si el límite líquido o el plástico no se pueden determinar, o si el límite plástico es igual o mayor que el límite líquido, se informará que el suelo es no plástico, NP.

## 10 INFORME

---

- 10.1** El informe deberá incluir, al menos, lo siguiente:

**10.1.1** Identificación del proyecto.

**10.1.2** Procedencia y descripción de la muestra.

**10.1.3** Procedimiento de ensayo utilizado (manual o con el aparato de enrollamiento).

**10.1.4** Valores del límite líquido (LL), límite plástico (LP) e índice de plasticidad, (IP).

**10.1.5** Cualquier información adicional respecto al ensayo o al suelo en estudio.

**10.1.6** La referencia a este método de ensayo.

## 11 PRECISIÓN Y SESGO

---

- 11.1** *Precisión* – Los criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados obtenidos por este método de ensayo sobre un amplio rango de suelos, se muestran en las Tablas 126 - 1 y 126 - 2. El método de preparación de las muestras fue el de vía húmeda mencionado en la norma INV E-125.

- 11.2** *Sesgo* – No existe un valor de referencia aceptable para este método de ensayo, ni para el del límite líquido; por lo tanto, no es posible determinar el sesgo.

Tabla 126 - 1. Resumen de resultados de ensayos de laboratorio sobre límites de Atterberg

(1)	(2)			(3)			(4)			(5)		
TIPO DE SUELO	NÚMERO DE LABORATORIOS QUE HICIERON ENSAYOS POR TRIPLICADO			VALOR PROMEDIO <sup>A</sup> (PORCENTAJE DE PUNTOS)			DESVIACIÓN ESTÁNDAR <sup>B</sup> (PORCENTAJE DE PUNTOS)			RANGO ACEPTABLE ENTRE 2 RESULTADOS <sup>C</sup> (PORCENTAJE DE PUNTOS)		
<b>Tipo de ensayo</b>												
	LL	LP	IP	LL	LP	IP	LL	LP	IP	LL	LP	IP
<b>Resultados de un solo operador (repetibilidad en el mismo laboratorio)</b>												
CH	13	13	13	59.8	20.6	39.2	0.7	0.5	0.8	2	1	2
CL	14	13	13	33.4	19.9	13.6	0.3	0.4	0.5	1	1	1
ML	12	11	11	27.4	23.4 <sup>D</sup>	4.1 <sup>D</sup>	0.5	0.3	0.6	2	1	2
<b>Resultados multi-laboratorio (reproducibilidad entre laboratorios)</b>												
CH	13	13	13	59.8	20.6	39.2	1.3	2.0	2.5	4	6	7
CL	14	13	13	33.4	19.9	13.6	1.0	1.2	1.7	3	3	5
ML	12	11	11	27.4	23.4 <sup>D</sup>	4.1 <sup>D</sup>	1.3	0.9	1.9	4	3	5

<sup>A</sup> El número de dígitos significativos y de cifras decimales que se presentan, representan los datos de entrada.

<sup>B</sup> La desviación estándar se refiere al límite 1s.

<sup>C</sup> El rango aceptable entre dos resultados se refiere al límite d2s. Este valor se calcula mediante el producto  $1.960 \times \sqrt{2} \times 1s$  como se define en la práctica ASTM E 177. La diferencia entre los resultados de dos ensayos adecuadamente realizados no debe superar este límite.

<sup>D</sup> Para el suelo ML, dos de los laboratorios reportaron el suelo como NP

Tabla 126 - 2. Resumen de resultados de ensayos de cada laboratorio

(1)	(2)	(3)			(4)			(5)		
TIPO DE SUELO	NÚMERO DE LABORATORIOS	VALOR PROMEDIO (PORCENTAJE DE PUNTOS)			DESVIACIÓN ESTÁNDAR (PORCENTAJE DE PUNTOS)			RANGO ACEPTABLE ENTRE 2 RESULTADOS (PORCENTAJE DE PUNTOS)		
<b>Tipo de ensayo</b>										
		LL	LP	IP	LL	LP	IP	LL	LP	IP
CH	24	59.9	20.4	39.5	2.1	2.7	3.1	6	7	9
CL	24	33.3	19.9	13.4	0.8	1.3	1.6	2	4	4
ML	18	27.1	23.2 <sup>A</sup>	3.9 <sup>A</sup>	1.3	1.2	1.8	4	3	5

<sup>A</sup> Para el suelo ML, 6 de 24 laboratorios reportaron el suelo como NP

## 12 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 4318 – 10

**ANEXO  
(Informativo)**

**MODELO DE FORMATO PARA PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

INVIAS	DETERMINACION LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO	INVE - 125 INVE - 126																																																																																																											
		Fecha:																																																																																																											
<p>CERTIFICADO DE ENSAYO No.</p> <p>Identificación de la obra .....</p> <p>Identificación de la muestra .....</p> <p>Calicata / sondeo ..... Horizonte ..... Fecha muestreo .....</p>																																																																																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="3">LIMITE PLASTICO</th> <th colspan="5">LIMITE LIQUIDO</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ENSAYE Nº</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>CÁPSULA Nº</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>NÚMERO DE GOLPES</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>1 PESO CÁPSULA + SUELO HUM (g)</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>2 PESO CÁPSULA + SUELO SECO (g)</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>3 PESO DE LA CÁPSULA (g)</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>4 PESO DEL AGUA (1-2) (g)</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>5 PESO DEL SUELO SECO (2-3) (g)</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>6 HUMEDAD (4/5)*100 (%)</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>7 PROMEDIO LIMITE PLÁSTICO (%)</td> <td colspan="3"></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </tbody> </table>				LIMITE PLASTICO			LIMITE LIQUIDO					1	2	3	1	2	3	4	5	ENSAYE Nº									CÁPSULA Nº									NÚMERO DE GOLPES									1 PESO CÁPSULA + SUELO HUM (g)									2 PESO CÁPSULA + SUELO SECO (g)									3 PESO DE LA CÁPSULA (g)									4 PESO DEL AGUA (1-2) (g)									5 PESO DEL SUELO SECO (2-3) (g)									6 HUMEDAD (4/5)*100 (%)									7 PROMEDIO LIMITE PLÁSTICO (%)								
	LIMITE PLASTICO			LIMITE LIQUIDO																																																																																																									
	1	2	3	1	2	3	4	5																																																																																																					
ENSAYE Nº																																																																																																													
CÁPSULA Nº																																																																																																													
NÚMERO DE GOLPES																																																																																																													
1 PESO CÁPSULA + SUELO HUM (g)																																																																																																													
2 PESO CÁPSULA + SUELO SECO (g)																																																																																																													
3 PESO DE LA CÁPSULA (g)																																																																																																													
4 PESO DEL AGUA (1-2) (g)																																																																																																													
5 PESO DEL SUELO SECO (2-3) (g)																																																																																																													
6 HUMEDAD (4/5)*100 (%)																																																																																																													
7 PROMEDIO LIMITE PLÁSTICO (%)																																																																																																													
CURVA DE FLUIDEZ																																																																																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">Límite líquido (LL)</td> <td style="width: 33%;">Límite plástico (LP)</td> <td style="width: 33%;">Índice de plasticidad (IP) = LL-LP</td> </tr> </table>			Límite líquido (LL)	Límite plástico (LP)	Índice de plasticidad (IP) = LL-LP																																																																																																								
Límite líquido (LL)	Límite plástico (LP)	Índice de plasticidad (IP) = LL-LP																																																																																																											



# DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE CONTRACCIÓN DE LOS SUELOS

INV E – 127 – 13

## 1 OBJETO

---

- 1.1** Esta norma de ensayo tiene como propósito la obtención de datos por medio de los cuales se pueden calcular las siguientes constantes de los suelos: a) límite de contracción, b) relación de contracción, c) cambio volumétrico, d) contracción lineal. El método descrito implica el uso de mercurio (Nota 1).

*Nota 1: El mercurio es una sustancia peligrosa que puede causar efectos nocivos en la salud si su vapor se inhala por mucho tiempo o si se pone en contacto con la piel. Sus efectos son acumulativos. Siempre que se use mercurio, se deberán adoptar las siguientes precauciones: (1) Mantenerlo en un recipiente de cristal sellado e irrompible; (2) Trabajar en un área bien ventilada; (3) Evitar el contacto directo con el mercurio y usar guantes todo el tiempo; (4) Evitar el esparcimiento incontrolado de partículas, efectuando la parte del ensayo que requiera uso de mercurio, en un recipiente que pueda recoger las gotas que se derramen durante el ensayo; y (5) Las partículas no controladas se deben limpiar de la mejor manera posible, empleando un procedimiento que resulte idóneo para el manejo del mercurio.*

- 1.2** El método descrito en esta norma se debe aplicar únicamente sobre la porción de suelo que pasa el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40). Por lo tanto, se deberá considerar la contribución relativa de esta fracción de suelo a las propiedades de la muestra como conjunto, cuando se usen estos ensayos para evaluar las propiedades de un suelo.
- 1.3** A los fines de comparar valores medidos o calculados con límites especificados, el valor medido o calculado se deberá redondear al dígito significativo más próximo al del límite especificado.
- 1.4** Esta norma reemplaza la norma INV E-127-07.

## 2 DEFINICIONES

---

- 2.1** *Límite de contracción* – Es el contenido máximo de agua, por debajo del cual un secado adicional no causa una disminución de volumen de la muestra de suelo, pero por encima de cual un incremento en el contenido de agua sí produce un aumento en el volumen de la masa de suelo.
- 2.2** *Relación de contracción* – Es la relación entre un cambio dado de volumen, expresado como porcentaje del volumen seco, y el cambio correspondiente en

su contenido de agua por encima del límite de contracción, expresado como un porcentaje del peso seco al horno.

- 2.3** *Cambio volumétrico* – Es la disminución de volumen de la masa de suelo, cuando se reduce el contenido de agua desde un porcentaje dado hasta el límite de contracción.
- 2.4** *Contracción lineal* – Es la disminución de la muestra de suelo en una sola dimensión, expresada como un porcentaje de la dimensión original, cuando el contenido de agua se reduce desde un porcentaje dado hasta el límite de contracción.

### 3 RESUMEN DEL MÉTODO

---

- 3.1** Se remoldea completamente una muestra de suelo de grano fino con un contenido de agua que dé lugar a una consistencia similar a la del límite líquido. La pasta saturada se coloca en un recipiente de volumen conocido y se seca lentamente. Se determinan la masa y el volumen de la pastilla de suelo que se forma finalmente. Estas medidas se emplean para calcular las constantes del suelo.

### 4 IMPORTANCIA Y USO

---

- 4.1** Los factores de contracción cubiertos por este método de ensayo se pueden determinar únicamente en suelos finos cohesivos, que presenten resistencia cuando se secan al aire.
- 4.2** Se asume normalmente que el término límite de contracción, expresado como un contenido de agua en porcentaje, representa la cantidad de agua necesaria para llenar los vacíos de un suelo cohesivo dado, cuando se halle en su relación de vacíos más baja obtenida mediante secado (generalmente en el horno). Así, el concepto del límite de contracción se puede emplear para evaluar el potencial de contracción y/o la posibilidad de que se desarrollen grietas en obras que incluyan suelos cohesivos.

## 5 EQUIPO Y MATERIALES

---

- 5.1** *Vasijas de evaporación* – De porcelana, de 115 mm (4½") y de 150 mm (6") de diámetro, aproximadamente.
- 5.2** *Espátula* – De unos 76 mm (3") de longitud y 19 mm (¾") de ancho.
- 5.3** *Recipiente para contracción* – Circular, de porcelana o de metal monel (aleación de níquel y cobre), de base plana y de aproximadamente 44.5 mm (1 ¾") de diámetro y 12.7 mm (½") de altura.
- 5.4** *Regla de metal* – De 150 mm (6") o más de longitud.
- 5.5** *Cazuela (taza) de vidrio* – De 57 mm (2¼") de diámetro y 25 mm (1") de altura, con bordes lisos y nivelados.
- 5.6** *Placa de vidrio* – Con tres patas metálicas salientes, para sumergir la muestra de suelo en mercurio, como se muestra en la Figura 127 - 1.
- 5.7** *Probeta* – Con capacidad de 25 ml y graduada cada 0.2 ml.
- 5.8** *Balanza* – Con legibilidad de 0.1 g.
- 5.9** *Horno* – Termostáticamente controlado y que pueda conservar temperaturas constantes y uniformes hasta  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ \text{F}$ ).
- 5.10** *Recipiente pando de vidrio* – De, aproximadamente, 20×20×5 cm (8×8×2"), el cual se usará para contener derrames accidentales de mercurio.
- 5.11** *Guantes de caucho.*
- 5.12** *Mercurio* – Suficiente para llenar el recipiente de vidrio, hasta que rebose.
- 5.13** *Agua destilada.*

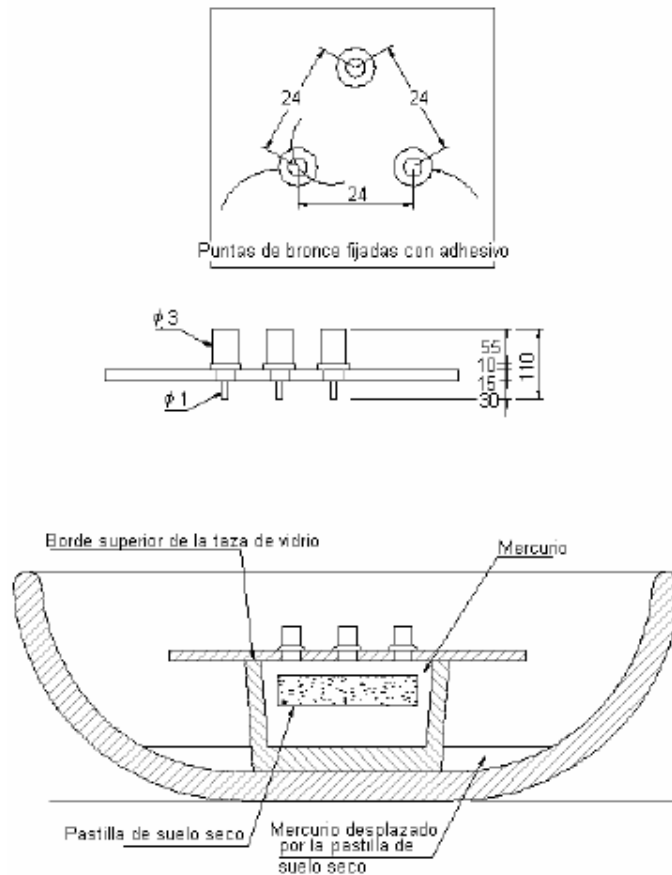


Figura 127 - 1. Aparato para determinar el cambio volumétrico del suelo

## 6 MUESTRA

- 6.1 De una porción de material completamente mezclado que pase el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40) se toma una muestra que pese aproximadamente 30 g, de acuerdo con los procedimientos descritos en la norma INV E-106 o en la norma INV E-107.

## 7 PROCEDIMIENTO

- 7.1 La muestra de suelo se coloca en la vasija de evaporación y se mezcla completamente con una cantidad de agua destilada suficiente para llenar completamente los vacíos del suelo y darle una consistencia lo suficientemente pastosa (un poco por encima del límite líquido por apreciación visual), como para que pueda ser fácilmente colocada en el

recipiente para contracción. Es deseable usar la menor cantidad posible de agua que lleve la muestra a la consistencia deseada, con el fin de evitar que, si se trata de un suelo muy plástico, éste se agriete durante el proceso de secado.

- 7.2** Se reviste el interior del recipiente para contracción con una capa delgada de vaselina o cualquier grasa pesada, para evitar la adhesión del suelo al recipiente. Se determina y anota la masa en gramos del recipiente vacío ( $M_T$ ).
- 7.3** Se coloca el recipiente para contracción dentro del recipiente pando de vidrio, para recuperar cualquier derrame del mercurio. La capacidad del recipiente de contracción, la cual será también el volumen de la masa de suelo húmedo, se determina llenando el recipiente con mercurio hasta rebosar, eliminando el exceso mediante presión con la placa de vidrio sobre la parte superior del recipiente. Se debe vigilar que no queden burbujas de aire atrapadas entre la placa y el mercurio, y si quedan, se deberá repetir el proceso llenando de nuevo el recipiente. Se determina el volumen de mercurio contenido en el recipiente para contracción midiendo en la probeta graduada la masa de mercurio retenida en él o determinando en la balanza la masa del mercurio y dividiéndola por su densidad ( $13.55 \text{ g/cm}^3$ ). Éste será el volumen de la masa de suelo húmedo ( $V$ ).

*Nota 2: No es necesario medir el volumen del recipiente de contracción cada vez que se realice un ensayo. El valor obtenido en una medición previa se puede seguir empleando, siempre y cuando el recipiente se encuentre bien identificado y en perfectas condiciones.*

- 7.4** Se coloca en el centro del recipiente para contracción una cantidad de suelo húmedo igual o cercana a la tercera parte del volumen de éste y se fuerza para que fluya hacia los bordes, golpeándola suavemente sobre una superficie firme y acolchonada por varias hojas de papel secante o un material similar. A continuación, se agrega una cantidad de suelo aproximadamente igual a la primera porción y se golpea el recipiente hasta que el suelo esté completamente compactado y todo el aire incluido haya sido expulsado. Se agrega más suelo y se continúan los golpecitos hasta que el recipiente se llene completamente y rebose por los lados. Se remueve el exceso de suelo en la superficie con la regla metálica y se limpia el que quede adherido a la superficie externa del recipiente. Se pesa inmediatamente el recipiente de contracción con el suelo húmedo y se anota la masa obtenida ( $M_W$ ).
- 7.5** Se deja secar la masa de suelo al aire, hasta que el color de la misma cambie de oscuro a claro. Luego, se introduce en el horno a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ \text{ C}$  ( $230 \pm 9^\circ \text{ F}$ ), hasta alcanzar masa constante. Si la masa de suelo se agrieta o parte durante el secado, se deberá volver al paso 7.1 de este procedimiento

y se preparará una nueva pasta de suelo con menos agua. Si la masa de suelo seco no sufrió dicha alteración, se pesa con el recipiente y se anota la masa obtenida ( $M_D$ ).

**7.6** El volumen de la masa de suelo seco (pastilla) se determina de la siguiente manera:

**7.6.1** Se coloca la cazuela (taza) de vidrio dentro del recipiente pando. Se llena la cazuela con mercurio hasta rebosar, y el exceso de mercurio se remueve presionando firmemente la placa de vidrio con tres salientes metálicas, sobre la parte superior del recipiente, cuidando que no queden burbujas de aire atrapadas entre la placa y el mercurio. Cualquier porción de mercurio que quede adherida a la parte externa del recipiente se deberá limpiar cuidadosamente.

**7.6.2** El recipiente lleno de mercurio se coloca en la vasija de evaporación de 150 mm (6"). En seguida, se coloca la pastilla de suelo seco sobre la superficie del mercurio (ella flotará). Empleando la placa de vidrio con las tres salientes, se fuerza cuidadosamente la pastilla para sumergirla dentro del mercurio (Figura 127 - 1), presionándola firmemente sobre el recipiente. Es esencial que no quede aire atrapado entre la placa y el mercurio y si ello ocurre se deberá repetir el proceso desde el paso 7.6.1. El volumen de mercurio desplazado por la pastilla de suelo hacia la vasija de evaporación se mide en la probeta graduada y se anota como el volumen de suelo seco ( $V_0$ ) o, alternativamente, determinando la masa del mercurio con aproximación a 0.1 g y calculando el volumen, usando la fórmula  $V_0=M/D$ , donde M es la masa de mercurio desplazada, en gramos, y  $D=13.55 \text{ g/cm}^3$  (densidad del mercurio).

## 8 CÁLCULOS

**8.1** Se calcula la masa húmeda del suelo en el momento en que éste fue colocado en el recipiente para contracción ( $M$ ):

$$M = M_W - M_T \quad [127.1]$$

**8.2** Se calcula la masa de la pastilla de suelo seco ( $M_0$ ) como:

$$M_0 = M_D - M_T \quad [127.2]$$

- 8.3** Se calcula el contenido de agua del suelo en el momento en que éste fue colocado en el recipiente ( $w$ ), con la expresión:

$$w = \frac{M - M_0}{M_0} \times 100 \quad [127.3]$$

- 8.4** Se calcula el límite de contracción (LC), como un contenido de agua en relación con la masa de suelo seco, con la expresión:

$$LC = w - \left[ \frac{(V - V_0) \rho_w}{M_0} \right] \times 100 \quad [127.4]$$

Donde:  $\rho_w$ : Densidad del agua, aproximadamente igual a  $1.0 \text{ g/cm}^3$ .

- 8.5** Se calcula la relación de contracción (R), por medio de la siguiente fórmula:

$$R = \frac{M_0}{V_0 \times \rho_w} \quad [127.5]$$

- 8.6** Se calcula el cambio volumétrico (CV) para un contenido de agua cualquiera ( $w_1$ ), superior al límite de contracción, con la expresión:

$$CV = (w_1 - LC) \times R \quad [127.6]$$

- 8.7** Se calcula la contracción lineal (CL) para un contenido de agua cualquiera ( $w_1$ ), superior al límite de contracción, con la fórmula:

$$CL = 100 \left[ 1 - \sqrt[3]{\frac{100}{100 + CV}} \right] \quad [127.7]$$

## 9 INFORME

- 9.1** Se debe entregar la siguiente información:

- 9.1.1** Datos de identificación y descripción visual de la muestra.
- 9.1.2** Contenido inicial de agua, en porcentaje, aproximado al entero.
- 9.1.3** Valores de límite de contracción, de cambio volumétrico y de contracción lineal, redondeados al entero y sin mencionar que se trata de porcentajes.
- 9.1.4** Valor de la relación de contracción, aproximada a la centésima más cercana.

## 10 PRECISIÓN Y SESGO

### 10.1 Precisión – Ver Tabla 127 - 1.

Tabla 127 - 1. Estimaciones de precisión<sup>A</sup>

MATERIAL Y TIPO DE CONSTANTE FÍSICA	VALOR PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (1s)	RANGO ACEPTABLE ENTRE DOS RESULTADOS (d2s)
<i>Un solo operador:</i>			
Límite de contracción	16	0.6	1.8
Relación de contracción	1.90	0.04	0.13
<i>Multi-laboratorio:</i>			
Límite de contracción	16	1.7	4.8
Relación de contracción	1.90	0.07	0.19

<sup>A</sup> No hay datos en relación con el cambio volumétrico y la contracción lineal

- 10.2 Sesgo** – No hay valores de referencia aceptables para este método de ensayo, por lo que el sesgo no se puede determinar.

## 11 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 427 – 04 (retirada por la ASTM en 2008)



# DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LAS PARTÍCULAS SÓLIDAS DE LOS SUELOS Y DEL LLENANTE MINERAL, EMPLEANDO UN PICNÓMETRO CON AGUA

INV E – 128 – 13

## 1 OBJETO

---

- 1.1** Esta norma de ensayo se utiliza para determinar la gravedad específica de los suelos que pasan el tamiz de 4.75 mm (No. 4) y del llenante mineral de las mezclas asfálticas (*filler*), empleando un picnómetro. Cuando el suelo contiene partículas mayores que el tamiz de 4.75 mm (No. 4), la gravedad específica de éstas se deberá determinar de acuerdo con el método de ensayo descrito en la norma INV E–223.
- 1.1.1** Las partículas sólidas de los suelos a los cuales se les va a determinar la gravedad específica de acuerdo con esta norma, no podrán ser susceptibles de alteración por el procedimiento de ensayo, ni estar contaminadas con sustancias que prohíban el uso de estos métodos, o que sean altamente orgánicas, tales como la materia fibrosa que flota en el agua.
- 1.2** La norma incluye dos métodos para determinar la gravedad específica. El método por utilizar deberá ser especificado por el cliente, excepto cuando se vayan a ensayar los tipos de suelo mencionados en el numeral 1.2.1.
- 1.2.1** *Método A* – Es el procedimiento descrito en el numeral 7.2 para el ensayo de muestras húmedas. Este es el método preferido y se deberá emplear obligatoriamente para el ensayo de los siguientes tipos de suelos: suelos finos altamente plásticos; suelos tropicales y suelos que contengan haloisita.
- 1.2.2** *Método B* – Es el procedimiento descrito en el numeral 7.3 para el ensayo de muestras secas.
- 1.3** Esta norma reemplaza la norma INV E–128–07.

## 2 DEFINICIÓN

---

- 2.1** *Gravedad específica de las partículas sólidas del suelo,  $G_s$*  – Es la relación entre la masa de un cierto volumen de sólidos a una temperatura dada y la masa del mismo volumen de agua destilada y libre de gas a igual temperatura. La temperatura generalmente usada como referencia es 20° C.

## 3 IMPORTANCIA Y USO

---

- 3.1** La gravedad específica de los sólidos de un suelo se usa en casi toda ecuación que exprese relaciones de fases de aire, agua y sólidos en un volumen dado de material.
- 3.2** El término partículas sólidas, como se usa en ingeniería geotécnica, hace relación a las partículas minerales que aparecen naturalmente y que prácticamente no son solubles en agua. Por lo tanto, la gravedad específica de materiales que contengan sustancias extrañas (como cemento, cal, etc.), materiales solubles en agua (como cloruro de sodio) y suelos que contengan sustancias con gravedad específica menor de uno, requieren un tratamiento especial (nota 1) o una definición diferente de la gravedad específica.

*Nota 1: Se deberá emplear la norma de ensayo ASTM D 5550 para ensayar suelos que contengan sustancias que se disuelvan o floten en el agua, o donde resulte impracticable el uso del agua*

## 4 EQUIPO Y MATERIALES

---

- 4.1** *Picnómetro* – El picnómetro debe ser un frasco con tapón o un frasco volumétrico con una capacidad mínima de 250 ml. El volumen del picnómetro debe ser de 2 a 3 veces mayor que el volumen de la mezcla del suelo con agua usada durante la actividad de extracción de aire en la prueba.
- 4.1.1** El frasco con tapón fija mecánicamente el volumen. No se debe mojar el frasco por fuera, porque crearía cambios en el equilibrio térmico. Al usar un frasco con tapón, se debe asegurar que el tapón esté correctamente marcado y que corresponde al frasco.
- 4.2** *Aparato para extraer el aire atrapado* – Para extraer el aire atrapado, se puede usar alguno de los siguientes aparatos:

**4.2.1** *Bomba de vacío* – Capaz de producir un vacío parcial de 100 mm de mercurio (Hg) de presión absoluta, o menor.

**4.2.2** *Reverbero o Mechero Bunsen* – Capaz de mantener una temperatura suficiente para hervir agua.

*Nota 2: Un vacío parcial de 100 mm de Hg de presión absoluta es, aproximadamente, equivalente a una lectura de 660 mm (26") Hg en el manómetro de vacío al nivel del mar.*

**4.3** *Horno* – Preferiblemente de tiro forzado, capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ).

**4.4** *Balanzas* – Con legibilidad de 0.01g. Cuando se usen picnómetros de 250 ml, la capacidad de la balanza deberá ser, cuando menos, de 500 g; mientras que si los picnómetros son de 500 ml, la capacidad de la balanza deberá igual o mayor a 1000 g.

**4.5** *Pipeta*.

**4.6** *Termómetro* – Capaz de medir temperaturas entre los límites en que se lleva a cabo la prueba, graduado con marcas a  $0.1^{\circ}\text{C}$  ( $0.18^{\circ}\text{F}$ ) y un error máximo admisible de  $0.5^{\circ}\text{C}$  ( $0.9^{\circ}\text{F}$ ). Su profundidad disponible para inmersión en las muestras y en las soluciones de calibración se debe encontrar entre 25 y 80 mm (1 a 3"). No se deben emplear termómetros de inmersión total. El termómetro deberá ser sometido a calibración, por lo menos una vez al año.

**4.7** *Desecador* – Un gabinete desecador o un recipiente desecador de tamaño apropiado, que contenga gel de sílice o sulfato anhidro de calcio.

*Nota 3: Es preferible usar un desecante que cambie de color para indicar el instante en que requiere su reposición.*

**4.8** *Recipiente aislante* – Un recipiente de icopor o similar, con su tapa y con capacidad para contener entre tres y seis picnómetros más un vaso de precipitados (o una botella) con agua y un termómetro. Esto se requiere para mantener un ambiente de temperatura controlada, donde los cambios sean uniformes y graduales.

**4.9** *Embudo* – Un embudo de superficie lisa y anticorrosiva, con un cuello que se extienda más allá de la marca de calibración del frasco volumétrico o del sello de taponamiento en los frascos con tapón. El diámetro del cuello del embudo debe ser suficientemente grande para permitir el paso fácil de las partículas sólidas.

- 4.10** *Tubo para llenar el picnómetro, con orificios laterales de ventilación (opcional)*  
- Un dispositivo que facilite la adición de agua desaireada al picnómetro sin alterar la mezcla de suelo y agua. El dispositivo se debe fabricar de la siguiente forma: Se tapona en un extremo un tubo plástico de 6 a 10 mm ( $\frac{1}{4}$  a  $\frac{3}{8}$ " ) de diámetro y se cortan dos pequeñas muescas justo arriba del tapón. Los orificios de ventilación deben quedar perpendiculares al eje del tubo y diametralmente opuestos. Se conecta una válvula al otro extremo del tubo y una tubería a la válvula desde el punto de abastecimiento del agua desaireada.
- 4.11** *Tamiz de 4.75 mm (No. 4).*
- 4.12** *Mezclador (opcional)* – Un mezclador con aspas adaptadas en la base del recipiente de mezclado.
- 4.13** *Botella plástica* – Con un atomizador.
- 4.14** *Mortero con maja de caucho* – Para desintegrar terrones de suelo.
- 4.15** *Agua* – Se debe usar agua destilada. Cuando en esta norma se mencione el agua, se sobrentenderá que es destilada.

## 5 MUESTRA PARA ENSAYO

- 5.1** Se debe tener especial cuidado en obtener muestras representativas para la determinación de la gravedad específica de los sólidos del suelo que pase el tamiz de 4.75 mm (No. 4). La muestra de suelo se puede ensayar con su humedad natural o se puede secar al horno. La Tabla 128 - 1 presenta una guía en relación con la masa de suelo seco y el volumen del picnómetro por utilizar, dependiendo del tipo de suelo.

Tabla 128 - 1. Masa recomendada para la muestra de ensayo

TIPO DE SUELO	MASA DE LA MUESTRA SECA (g) CUANDO SE USA UN PICNÓMETRO DE 250 ml.	MASA DE LA MUESTRA SECA (g) CUANDO SE USA UN PICNÓMETRO DE 500 ml.
SP, SP-SM	60 ± 10	100 ± 10
SP-SC, SM, SC	45 ± 10	75 ± 10
Limo o arcilla	35 ± 5	50 ± 10

- 5.1.1** Dos factores son importantes en relación con la cantidad de suelo por ensayar. Primero, la masa de los sólidos dividida por su gravedad específica, produce cuatro dígitos significativos. Segundo, la mezcla del suelo con el agua es una lechada y no un fluido de alta viscosidad durante el proceso de desaireación.

## 6 CALIBRACIÓN DEL PICNÓMETRO

---

- 6.1** El picnómetro vacío se limpia, seca y pesa y se registra su masa, con aproximación a 0.01 g. Esta determinación se debe realizar cinco veces seguidas, utilizando la misma balanza. Se determina la masa promedio del picnómetro seco ( $M_p$ ) y se registra, también, la desviación estándar, la cual deberá ser menor o igual a 0.02 g. Si es mayor, se deben realizar mediciones adicionales o utilizar una balanza más estable o más precisa.
- 6.2** Se llena el picnómetro con agua desaireada por encima o por debajo de la marca de calibración, dependiendo del tipo de picnómetro y de si en el laboratorio se prefiere añadir o remover agua en este proceso.
- 6.2.1** Es más recomendable quitar el exceso de agua y dejarla a nivel de la marca de calibración, que añadir la faltante. De esta manera, se reduce la posibilidad de alterar el equilibrio térmico al disminuir el número de veces que se debe abrir el recipiente aislante.
- 6.2.2** El agua debe ser desaireada para asegurar ausencia de burbujas en ella. El agua se puede desairear hirviéndola, aspirando con la bomba de vacío, combinando aspiración y calor, o con un dispositivo específico para este fin. Esta agua sin aire no se debe usar mientras no haya alcanzado la temperatura ambiente. El agua se debe añadir al picnómetro siguiendo la guía que se da en el numeral 7.6.
- 6.3** Se pueden calibrar simultáneamente hasta seis picnómetros en cada recipiente aislante. Se pone el picnómetro en el recipiente aislante, junto con el termómetro, un vaso de precipitados o una botella con agua desaireada, los tapones (si se están usando picnómetros con tapón), y un gotero o una pipeta. Se deja que el picnómetro alcance el equilibrio térmico (por lo menos tres horas). La temperatura de equilibrio debe estar dentro de los 4°C de la temperatura ambiente y entre 15 y 30°C.
- 6.4** Se acerca el recipiente aislante a la balanza o viceversa, se abre el recipiente y se saca un picnómetro. Sólo se debe tocar el aro del picnómetro, para evitar

que el calor de la mano altere el equilibrio térmico. Se debe trabajar ya sea en el recipiente aislante o colocando el picnómetro sobre un bloque de material aislante mientras se ejecutan los ajustes en el nivel del agua.

- 6.4.1** Si se usa un frasco volumétrico como picnómetro, se ajusta el agua hasta la marca de calibración, con el fondo del menisco al nivel de la marca. Si se debe añadir agua, se usa el agua térmicamente equilibrada tomada del recipiente aislante. Si se tiene que quitar agua, se usa un tubo pequeño de succión o una toalla de papel. Si hay gotas de agua en el cuello del picnómetro o en el exterior del frasco, ellas deben ser removidas. Se mide y registra la masa del picnómetro con agua, con aproximación de 0.01 g.
- 6.4.2** Si se emplea el frasco con tapón, se ajusta el nivel de agua para evitar que queden burbujas de aire atrapadas bajo el tapón durante la colocación de éste. Si se debe añadir agua, se usa el agua térmicamente equilibrada tomada del recipiente aislante. En seguida, se coloca el tapón en el frasco. Si se debe remover agua, se emplean el gotero o la pipeta. Se seca el borde del frasco con una toalla de papel. Se debe asegurar que todo el exterior del frasco esté seco. Se mide y se anota la masa del frasco, agua y tapón, con aproximación de 0.01 g.
- 6.5** Se mide y se anota la temperatura del agua ( $T_c$ ), con aproximación a 0.1°C, empleando el termómetro que ha sido equilibrado térmicamente en el recipiente aislante. Se inserta el termómetro en el agua a la profundidad adecuada de inmersión (véase numeral 4.6). Se regresa el picnómetro al recipiente aislante. Se repite esta operación con todos los picnómetros que haya en el recipiente aislante.
- 6.6** Se reajusta el nivel de agua en cada picnómetro por encima o por debajo de la marca de calibración o se desocupa y luego se llena hasta que el nivel del agua quede un poco por encima o por debajo de dicha marca. Se permite que los picnómetros se equilibren térmicamente (por lo menos 3 horas) en el recipiente aislante. Se ajusta el nivel del agua con la marca de calibración, removiendo agua del picnómetro o llenándolo hasta la marca con agua desaireada térmicamente equilibrada, tomada del recipiente aislante. Se pesa y se registran la masa y la temperatura del picnómetro lleno de agua ( $M_{pw,C}$ ,  $T_c$ ).
- 6.6.1** Se repite el procedimiento descrito en el numeral 6.6 hasta obtener cinco medidas independientes de la masa y de la temperatura con cada picnómetro lleno de agua. Las temperaturas no necesitan abarcar algún rango en particular.

- 6.7** Usando los datos de cada una de las cinco mediciones, se calcula el volumen calibrado de cada picnómetro ( $V_p$ ), empleando la siguiente ecuación:

$$V_p = \frac{M_{pw,c} - M_p}{\rho_{w,c}} \quad [128.1]$$

Donde:  $M_{pw,c}$ : Masa del picnómetro lleno de agua a la temperatura de calibración, g;

$M_p$ : Masa promedio del picnómetro seco, g;

$\rho_{w,c}$ : Densidad de masa del agua a la temperatura de calibración, g/cm<sup>3</sup> (Tabla 128 - 2).

- 6.8** Se calculan el promedio y la desviación estándar de las cinco determinaciones de volumen. La desviación estándar debe ser menor o igual a 0.05 cm<sup>3</sup> (redondeada a dos cifras decimales). Si es mayor, significa que el procedimiento de calibración tuvo demasiada variabilidad y no producirá determinaciones exactas de la gravedad específica. Se deberán analizar los puntos críticos que permitan mejorar los resultados (ajuste del volumen a la marca de calibración, verificación de la temperatura de equilibrio, medidas de la temperatura, método de desaireación, cambio a frascos con tapa, etc.) y se repetirá el procedimiento hasta reducir la desviación estándar a un valor que no sea superior a 0.05 cm<sup>3</sup>.

## 7 PROCEDIMIENTO

- 7.1** *Masa del picnómetro* – Empleando la misma balanza utilizada para calibrar el picnómetro, se verifica que la masa de éste no presente una variación de más de 0.06 g en relación con la masa promedio obtenida durante la calibración. Si ello no ocurre, se deberá recalibrar la masa seca del picnómetro.

- 7.2** *Método A – Procedimiento para especímenes húmedos.*

- 7.2.1** Se determina el contenido de agua de una porción representativa de la muestra, aplicando el procedimiento descrito en la norma INV E-122. A partir de éste, se calcula el rango de masas húmedas para el espécimen de gravedad específica, de acuerdo con lo indicado en el numeral 5.1. Se deberá tomar de la muestra un espécimen que se encuentre en este rango de masa. No se debe muestrear para obtener una masa exacta predeterminada.

- 7.2.2** Se colocan alrededor de 1000 ml de agua dentro del recipiente de mezclado de un mezclador o de un aparato equivalente. Se vierte el suelo y se mezcla. El volumen mínimo de lechada que se puede preparar utilizando este equipo exige, por lo general, el uso de un picnómetro de 500 ml.
- 7.2.3** Usando el embudo, se vierte la lechada dentro del picnómetro. Se enjuagan las partículas de suelo que hayan quedado adheridas al embudo, aplicando agua con la botella plástica con atomizador.
- 7.2.4** A continuación, se procede como se indica en el numeral 7.4.

Tabla 128 - 2. Densidad de agua y coeficiente de corrección por temperatura

Temperatura (° C)	Densidad (g/ cm <sup>3</sup> )	Coefficiente (K)	Temperatura (° C)	Densidad (g/ cm <sup>3</sup> )	Coefficiente (K)	Temperatura (° C)	Densidad (g/ cm <sup>3</sup> )	Coefficiente (K)	Temperatura (° C)	Densidad (g/ cm <sup>3</sup> )	Coefficiente (K)
15.0	0.99910	1.00090	16.0	0.99895	1.00074	17.0	0.99878	1.00057	18.0	0.99860	1.00039
.1	0.99909	1.00088	.1	0.99893	1.00072	.1	0.99876	1.00055	.1	0.99858	1.00037
.2	0.99907	1.00087	.2	0.99891	1.00071	.2	0.99874	1.00054	.2	0.99856	1.00035
.3	0.99906	1.00085	.3	0.99890	1.00069	.3	0.99872	1.00052	.3	0.99854	1.00034
.4	0.99904	1.00084	.4	0.99888	1.00067	.4	0.99871	1.00050	.4	0.99852	1.00032
.5	0.99902	1.00082	.5	0.99886	1.00066	.5	0.99869	1.00048	.5	0.99850	1.00030
.6	0.99901	1.00080	.6	0.99885	1.00064	.6	0.99867	1.00047	.6	0.99848	1.00028
.7	0.99899	1.00079	.7	0.99883	1.00062	.7	0.99865	1.00045	.7	0.99847	1.00026
.8	0.99898	1.00077	.8	0.99881	1.00061	.8	0.99863	1.00043	.8	0.99845	1.00024
.9	0.99896	1.00076	.9	0.99879	1.00059	.9	0.99862	1.00041	.9	0.99843	1.00022
19.0	0.99841	1.00020	20.0	0.99821	1.00000	21.0	0.99799	0.99979	22.0	0.99777	0.99957
.1	0.99839	1.00018	.1	0.99819	0.99998	.1	0.99797	0.99977	.1	0.99775	0.99954
.2	0.99837	1.00016	.2	0.99816	0.99996	.2	0.99795	0.99974	.2	0.99773	0.99952
.3	0.99835	1.00014	.3	0.99814	0.99994	.3	0.99793	0.99972	.3	0.99770	0.99950
.4	0.99833	1.00012	.4	0.99812	0.99992	.4	0.99791	0.99970	.4	0.99768	0.99947
.5	0.99831	1.00010	.5	0.99810	0.99990	.5	0.99789	0.99968	.5	0.99766	0.99945
.6	0.99829	1.00008	.6	0.99808	0.99987	.6	0.99786	0.99966	.6	0.99764	0.99943
.7	0.99827	1.00006	.7	0.99806	0.99985	.7	0.99784	0.99963	.7	0.99761	0.99940
.8	0.99825	1.00004	.8	0.99804	0.99983	.8	0.99782	0.99961	.8	0.99759	0.99938
.9	0.99823	1.00002	.9	0.99802	0.99981	.9	0.99780	0.99959	.9	0.99756	0.99936
23.0	0.99754	0.99933	24.0	0.99730	0.99909	25.0	0.99705	0.99884	26.0	0.99679	0.99858
.1	0.99752	0.99931	.1	0.99727	0.99907	.1	0.99702	0.99881	.1	0.99676	0.99855
.2	0.99749	0.99929	.2	0.99725	0.99904	.2	0.99700	0.99879	.2	0.99673	0.99852
.3	0.99747	0.99926	.3	0.99723	0.99902	.3	0.99697	0.99876	.3	0.99671	0.99850
.4	0.99745	0.99924	.4	0.99720	0.99899	.4	0.99694	0.99874	.4	0.99668	0.99847
.5	0.99742	0.99921	.5	0.99717	0.99897	.5	0.99692	0.99871	.5	0.99665	0.99844
.6	0.99740	0.99919	.6	0.99715	0.99894	.6	0.99689	0.99868	.6	0.99663	0.99842
.7	0.99737	0.99917	.7	0.99712	0.99892	.7	0.99687	0.99866	.7	0.99660	0.99839
.8	0.99735	0.99914	.8	0.99710	0.99889	.8	0.99684	0.99863	.8	0.99657	0.99836
.9	0.99732	0.99912	.9	0.99707	0.99887	.9	0.99681	0.99860	.9	0.99654	0.99833
27.0	0.99652	0.99831	28.0	0.99624	0.99803	29.0	0.99595	0.99774	30.0	0.99565	0.99744
.1	0.99649	0.99828	.1	0.99621	0.99800	.1	0.99592	0.99771	.1	0.99562	0.99741
.2	0.99646	0.99825	.2	0.99618	0.99797	.2	0.99589	0.99768	.2	0.99559	0.99738
.3	0.99643	0.99822	.3	0.99615	0.99794	.3	0.99586	0.99765	.3	0.99556	0.99735
.4	0.99641	0.99820	.4	0.99612	0.99791	.4	0.99583	0.99762	.4	0.99553	0.99732
.5	0.99638	0.99817	.5	0.99609	0.99788	.5	0.99580	0.99759	.5	0.99550	0.99729
.6	0.99635	0.99814	.6	0.99607	0.99785	.6	0.99577	0.99756	.6	0.99547	0.99726
.7	0.99632	0.99811	.7	0.99604	0.99783	.7	0.99574	0.99753	.7	0.99544	0.99723
.8	0.99629	0.99808	.8	0.99601	0.99780	.8	0.99571	0.99750	.8	0.99541	0.99720
.9	0.99627	0.99806	.9	0.99598	0.99777	.9	0.99568	0.99747	.9	0.99538	0.99716

### 7.3 Método B – Procedimiento para especímenes secados al horno.

- 7.3.1** Se seca el espécimen en el horno a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ) hasta masa constante. Todos los terrones que contenga el suelo se deberán desintegrar empleando un mortero con una maja de caucho. Si el suelo no se dispersa fácilmente después del secado o ha cambiado su



composición, se deberá usar el Método A. En el numeral 1.2.1 se indican los suelos que requieren obligatoriamente el método A.

**7.3.2** Se inserta el embudo en el picnómetro. El cuello del embudo debe pasar la marca de calibración o el sello de taponamiento. Se introducen los sólidos de suelo en el embudo empleando una cuchara. Se lavan las partículas de suelo que queden adheridas al embudo, aplicando agua con la botella plástica con atomizador.

**7.4** *Preparación de la lechada de suelo* – Se añade agua hasta que su nivel esté entre 1/3 y 1/2 de la profundidad del cuerpo principal del picnómetro. Se agita el agua hasta formar una lechada. Se enjuaga cualquier suelo adherido a la parte superior del picnómetro de manera que se añada a la lechada.

**7.4.1** Si en vez de una lechada se forma una pasta viscosa, se debe usar un picnómetro de mayor volumen (ver numeral 5.1.1).

*Nota 4: En algunos suelos que contienen una cantidad significativa de materia orgánica, el kerosene es mejor agente humedecedor que el agua y se puede usar en lugar del agua destilada en muestras secadas al horno. Si se usa, el aire atrapado sólo podrá ser removido con una aspiradora. El kerosene es inflamable y, por lo tanto, se debe usar con extrema precaución.*

**7.5** *Extracción del aire atrapado en la lechada* – El aire se puede extraer usando calor (hirviendo la lechada), aspirándolo con la bomba de vacío o mediante una combinación de calor y aspiración.

**7.5.1** Al usar solo el método del calor, la operación se debe continuar por lo menos durante 2 horas después de que la lechada comience a hervir. Se debe usar solamente el calor necesario para mantener la lechada hirviendo. Se agita la lechada cuanto sea necesario, para evitar que el suelo se seque o se pegue en el frasco por encima de la superficie de la lechada.

**7.5.2** Si solamente se usa la bomba de vacío, el picnómetro se debe agitar continuamente bajo vacío, por lo menos por dos horas. Agitar continuamente significa que los sólidos limo arcillosos deben permanecer en suspensión y la que lechada se encuentre en constante movimiento. El vacío debe permanecer relativamente constante y ser suficiente para producir burbujeo al comienzo del proceso de aspiración de aire.

**7.5.3** Si se usa una combinación de calor y vacío, los picnómetros se pueden colocar en un baño de agua tibia (a no más de 40°C) durante la

aplicación del vacío. El nivel de agua en el baño debe estar ligeramente por debajo del nivel de agua en el picnómetro. Si el vidrio del picnómetro se calienta demasiado, el suelo tenderá a secarse o a pegarse contra el vidrio. La duración de la combinación de vacío y calor debe ser por lo menos de una hora, después de que comience el hervor. Durante el proceso, la lechada se debe agitar cuanto sea necesario para mantener la ebullición y evitar que el suelo se seque sobre el picnómetro.

**7.6** *Llenado y enrase del picnómetro* – Se llena el picnómetro con agua desaireada (Ver numeral 6.2.2) introduciendo el agua por un tubo delgado y flexible, manteniendo el extremo de salida justamente por debajo de la superficie de la lechada en el picnómetro, o usando el tubo descrito en el numeral 4.10 para llenar el picnómetro. Si se utiliza este tubo, se llena con agua y se cierra la válvula. El tubo se debe colocar de manera que los orificios de drenaje queden justamente al nivel de la superficie de la lechada. Se abre la válvula ligeramente para permitir que el agua fluya por encima de la lechada. A medida que se va formando una capa de agua clara, se levanta el tubo y se ajusta la velocidad de flujo. Si el agua que se ha sido añadida se torna turbia, no se debe agregar agua por encima de la marca de calibración ni en el área del tapón. El agua restante se añade al día siguiente.

**7.6.1** Si se va a usar un frasco volumétrico con tapón, se llena el frasco de manera que la base del tapón quede sumergida en el agua. Entonces, se apoya el tapón haciendo un ángulo con el cuello ensanchado, para prevenir que quede aire atrapado bajo él. Si se usa un frasco volumétrico o un frasco con tapón, el frasco se deberá llenar hasta más arriba o más abajo de la marca de calibración, según se prefiera.

**7.7** Si se ha usado calor, se permite que el espécimen se enfríe a temperatura ambiente.

**7.8** *Equilibrio térmico* – Se pone el picnómetro en el recipiente aislante, junto con el termómetro, un vaso de precipitado o botella con agua desaireada, los tapones (si se están usando picnómetros con tapón), y un gotero o una pipeta. Todos estos elementos se deben mantener dentro del recipiente cerrado de un día para otro, para que alcancen el equilibrio térmico.

**7.9** *Determinación de la masa del picnómetro* – Si el recipiente aislante no se encuentra cerca de la balanza se acerca a ella o viceversa. Se abre el recipiente y se saca un picnómetro. Sólo se debe tocar el aro del picnómetro para evitar

que el calor de la mano altere el equilibrio térmico. Se coloca el picnómetro sobre un bloque aislante.

- 7.9.1** Si se usa un frasco volumétrico como picnómetro, se ajusta el agua hasta la marca de calibración, con el fondo del menisco al nivel de la marca, siguiendo el procedimiento descrito en el numeral 6.4.1.
- 7.9.2** Si se emplea el frasco con tapón, se ajusta el nivel de agua para evitar que queden burbujas de aire atrapadas bajo el tapón durante la colocación de éste. Si se debe añadir agua, se usa el agua térmicamente equilibrada tomada del recipiente aislante. En seguida, se coloca el tapón en el frasco. Si se debe remover agua, se emplean el gotero o la pipeta. Se seca el borde del frasco con una toalla de papel. Se debe asegurar que todo el exterior del frasco esté seco.
- 7.10** Se mide y se anota la masa del picnómetro con suelo y agua, con aproximación de 0.01 g, empleando la misma balanza utilizada durante la calibración del picnómetro ( $M_{pws,t}$ ).
- 7.11** *Determinación de la temperatura del picnómetro* – Se mide y se anota la temperatura de la lechada de suelo y agua con aproximación a 0.1° C, usando el termómetro y el método empleado en la calibración del picnómetro (Ver numeral 6.5). Esta es la temperatura  $T_t$ .
- 7.12** *Masa del suelo seco* – Se determina la masa de un recipiente con una aproximación de 0.01 g. Se transfiere la lechada de suelo a este recipiente. Es imperativo transferir la totalidad del suelo. Se puede añadir agua para lavar completamente el picnómetro. Se seca el espécimen hasta obtener una masa constante en un horno a  $110 \pm 5^\circ$  C y se enfría posteriormente en un desecador. Si el recipiente se puede cerrar de manera que el suelo no pueda absorber agua durante el enfriamiento, no se requerirá el desecador. Se mide la masa seca de los sólidos de suelo más el recipiente con aproximación a 0.01 g, usando la misma balanza utilizada en las anteriores determinaciones de masa. Se calcula la masa seca del suelo, la cual será registrada como  $M_s$ .

*Nota 5: Este método ha demostrado proveer resultados más consistentes y repetibles que determinando la masa seca antes de la prueba. Lo más probable, es que esto se deba a la pérdida de sólidos del suelo durante la fase de desaireación.*

## 8 CÁLCULOS

- 8.1** Se calcula la masa del picnómetro lleno de agua a la temperatura del ensayo, como sigue:

$$M_{pw,t} = M_p + (V_p \times \rho_{w,t}) \quad [128.2]$$

Donde:  $M_{pw,t}$ : Masa del picnómetro lleno de agua a la temperatura de ensayo (numeral 7.10), g;

$M_p$ : Masa promedio de calibración del picnómetro seco (numeral 6.1), g;

$V_p$ : Volumen promedio de calibración del picnómetro seco (numerales 6.7 y 6.8),  $\text{cm}^3$ ;

$\rho_{w,t}$ : Densidad del agua a la temperatura de ensayo ( $T_t$ ),  $\text{g}/\text{cm}^3$  (Tabla 128 - 2).

- 8.2** Se calcula la gravedad específica de las partículas sólidas del suelo a la temperatura de ensayo,  $G_t$ , con la expresión:

$$G_t = \frac{\rho_s}{\rho_{w,t}} = \frac{M_s}{[M_{pw,t} - (M_{pws,t} - M_s)]} \quad [128.3]$$

Donde:  $\rho_s$ : Densidad de las partículas sólidas,  $\text{g}/\text{cm}^3$ ;

$\rho_{w,t}$ : Densidad del agua a la temperatura de ensayo ( $T_t$ ),  $\text{g}/\text{cm}^3$ ;

$M_s$ : Masa de los sólidos del suelo secado en el horno (numeral 7.12), g;

$M_{pws,t}$ : Masa del picnómetro con agua y sólidos a la temperatura de ensayo (numeral 7.10), g.

- 8.3** Se calcula la gravedad específica de las partículas sólidas del suelo a  $20^\circ \text{C}$ ,  $G_{20^\circ\text{C}}$ , con la expresión:

$$G_{20^\circ\text{C}} = K \times G_t \quad [128.4]$$

Donde: K: Coeficiente de corrección por temperatura (Tabla 128 - 2).

- 8.4** Para el caso de suelos que también contengan partículas mayores de 4.75 mm, cuya gravedad específica se debe determinar en acuerdo con la norma INV E-223, se deberá calcular una gravedad específica promedio de los sólidos. Como la norma INV E-223 exige que el ensayo se realice a  $23 \pm 1.7^\circ \text{C}$  y no establece que se hagan una corrección a  $20^\circ \text{C}$ , se deberá emplear la misma fórmula del numeral 8.3 para realizar la corrección de la gravedad específica de las partículas de más de 4.75 mm y, luego, usar la siguiente fórmula para determinar la gravedad específica promedio de todo el suelo, corregida a  $20^\circ \text{C}$ :

$$G_{S_{20^\circ\text{C}}} = \frac{1}{\frac{R}{100 \cdot G_{1@20^\circ\text{C}}} + \frac{P}{100 \cdot G_{2@20^\circ\text{C}}}} \quad [128.5]$$

- Donde: R: Porcentaje de suelo retenido en el tamiz de 4.75 mm (No. 4);
- P: Porcentaje de suelo que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4);
- $G_{1@20^\circ\text{C}}$ : Gravedad específica aparente de los sólidos retenidos en el tamiz de 4.75 mm (No. 4), determinada según la norma INV E-223.
- $G_{2@20^\circ\text{C}}$ : Gravedad específica de los sólidos que pasan el tamiz de 4.75 mm (No. 4), determinada según la presente norma (ecuación del numeral 8.3).

## 9 INFORME

- 9.1** El documento elaborado como resultado de la ejecución del ensayo realizado de acuerdo con esta norma, deberá contener, al menos, la siguiente información:
- 9.1.1** Identificación del suelo (localización y número de la perforación de la cual se extrajo la muestra, número de la muestra, profundidad de la toma).
- 9.1.2** Clasificación visual del suelo, de acuerdo con la norma INV E-102.

- 9.1.3 Porcentaje de partículas retenidas en el tamiz de 4.75 mm (No. 4).
- 9.1.4 Si alguna parte de la muestra fue excluida del ensayo, descripción de la misma.
- 9.1.5 Método de ensayo utilizado, A o B (Ver numeral 1.2).
- 9.1.6 Los resultados de todas las medidas de masa, aproximadas a 0.01 g.
- 9.1.7 Temperatura de ensayo, aproximada a 0.1° C.
- 9.1.8 Gravedad específica a 20° C del suelo ensayado ( $G_{20^{\circ}\text{C}}$ ), aproximada a 0.01 y, si se desea, a 0.001 (Ver numeral 8.3).
- 9.1.9 Si el suelo contenía partículas retenidas en el tamiz de 4.75 mm (No. 4), la gravedad específica promedio a 20° C ( $G_{S20^{\circ}\text{C}}$ ), aproximada a 0.01 y, si se desea, a 0.001 (Ver numeral 8.4).

## 10 PRECISIÓN Y SESGO

---

**10.1** *Precisión* – Los criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados de los ensayos realizados de acuerdo con esta norma sobre una gama de suelos, empleando el Método A, se indican en las Tablas 128 - 3 y 128 - 4. Las características de los suelos ensayados se presentan en el numeral 10.1.1. Las estimaciones de precisión pueden variar con el tipo de suelo y el método de ensayo utilizado (A o B). Por lo tanto, se requiere buen juicio para extrapolar estos criterios a otro suelo o a otro método.

**10.1.1** Los suelos utilizados en los ensayos cuyos resultados se resumen en las Tablas 128 - 3 y 128 - 4, fueron:

CH – arcilla pesada, color marrón y gris, llamada localmente arcilla de Vicksburg Buckshot, 99% de finos, LL = 60, IP = 39.

CL – arcilla magra, gris, llamada localmente arcilla de Annapolis, 89% de finos, LL = 33, IP = 13.

ML – limo, marrón claro, llamado localmente limo de Vicksburg, 99% de finos, LL = 27, IP = 4.

SP – arena mal gradada, marrón amarillento, llamada arena de Frederick, 20% de arena gruesa, 48% de arena media, 30% de arena fina y 25 de finos.

Tabla 128 - 3. Resumen de los resultados de ensayos de gravedad específica hechos por triplicado en el laboratorio

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
TIPO DE SUELO	NÚMERO DE LABORATORIOS PARTICIPANTES	VALOR PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (1s)	RANGO ACEPTABLE DE DOS RESULTADOS (d2s)
Resultados de un solo operador (repetibilidad dentro del laboratorio)				
CH	14	2.717	0.009	0.03
CL	13	2.670	0.006	0.02
ML	14	2.725	0.006	0.02
SP	14	2.685	0.006	0.02
Resultados en varios laboratorios (reproducibilidad entre laboratorios)				
CH	14	2.717	0.028	0.08
CL	13	2.670	0.022	0.06
ML	14	2.725	0.022	0.06
SP	14	2.658	0.008	0.02

Tabla 128 - 4. Resumen de los resultados de ensayos individuales de gravedad específica de cada laboratorio

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
TIPO DE SUELO	NÚMERO DE LABORATORIOS PARTICIPANTES	VALOR PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (1s)	RANGO ACEPTABLE DE DOS RESULTADOS (d2s)
Resultados en varios laboratorios (ensayo individual realizado por cada laboratorio)				
CH	18	2.715	0.027	0.08
CL	18	2.673	0.018	0.05
ML	18	2.726	0.022	0.06
SP	18	2.660	0.007	0.02

**10.2 Sesgo** – No hay un valor aceptable de referencia para este método de ensayo; por lo tanto, no se puede determinar el sesgo.

## 11 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 854 – 10

**Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente**



# DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE CONTRACCIÓN DE LOS SUELOS POR EL MÉTODO DE LA PARAFINA

INV E – 129 – 13

## 1 OBJETO

---

- 1.1 Este método de ensayo cubre el procedimiento para determinar el límite de contracción de los suelos.
- 1.2 Los datos obtenidos mediante este método de ensayo se pueden emplear, también, para calcular la relación de contracción, la contracción volumétrica y la contracción lineal.
- 1.3 Este método de ensayo es aplicable, únicamente, a suelos cohesivos.
- 1.4 Puesto que el ensayo se realiza solamente sobre la porción de suelo que pasa el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40), se debe considerar la incidencia relativa de esta porción de suelo sobre las propiedades de la muestra como un conjunto, cuando se usen estos procedimientos para evaluar las propiedades de un suelo.
- 1.5 El límite de contracción, junto con los límites líquido y plástico de los suelos se conocen como límites de Atterberg. Estos límites distinguen los límites de varios estados de consistencia de los suelos cohesivos.

## 2 RESUMEN DEL MÉTODO

---

- 2.1 Se determina el contenido de agua de una pastilla de suelo húmedo. A continuación, se determina la pérdida de humedad al secar el suelo hasta volumen constante, y este valor se resta de la humedad inicial, para calcular el límite de contracción. El volumen de la pastilla de suelo seco se determina a partir de su masa en el aire y de su masa sumergida en agua. Se usa una cubierta de parafina para prevenir la absorción de agua por la pastilla de suelo seco.

### 3 IMPORTANCIA Y USO

---

- 3.1** El término límite de contracción, expresado como porcentaje de humedad, representa la cantidad de agua requerida exactamente para llenar todos los vacíos de un suelo cohesivo a su mínima relación de vacíos obtenida por secado en el horno. El límite de contracción se puede usar para evaluar el potencial de contracción, el potencial de agrietamiento y el potencial de expansión de explanaciones que involucren suelos cohesivos.

### 4 APARATOS

---

- 4.1** *Balanza o báscula* – Con una capacidad mínima de 500 g y una legibilidad de 0.01 g. Deberá estar equipada con un dispositivo que permita suspender el espécimen de suelo dentro de agua desde el centro de su plataforma.
- 4.2** *Recipiente para contracción* – Circular, de porcelana o de metal monel (aleación de níquel y cobre), de base plana y de aproximadamente 44.5 mm (1 ¾") de diámetro y 12.7 mm (½") de altura.
- 4.3** *Horno* – Termostáticamente controlado, preferiblemente de ventilación forzada, y que pueda conservar temperaturas constantes y uniformes hasta  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ \text{F}$ ).
- 4.4** *Mortero y maja* – Un mortero de hierro o porcelana, de aproximadamente 125 a 150 mm de diámetro, con una maja forrada en caucho.
- 4.5** *Espátula* – De unos 100 mm (4") de longitud y 19 mm (¾") de ancho.
- 4.6** *Regla de metal* – De 150 mm (6") o más de longitud, cuyo lado de enrase debe ser biselado si tiene un espesor mayor de 3 mm.
- 4.7** *Tamiz* – Con aberturas de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40).
- 4.8** *Parafina microcristalina* – En cantidad suficiente para cubrir las pastillas de suelo.
- 4.9** *Hilo de costura* – Hilo fino para sostener el espécimen dentro de la parafina.
- 4.10** *Agua* – Destilada.

- 4.11** *Baño de agua* – De tamaño suficiente para permitir la inmersión de la pastilla de suelo para determinar su masa dentro del agua.
- 4.12** *Calentador de parafina* – Con un control de temperatura que impida el sobrecalentamiento.
- 4.13** *Termómetro (opcional)* – Con un rango de 0 a 50° C y graduaciones cada 0.5° C.
- 4.14** *Placa de vidrio o de plástico transparente* – Para calibrar la cazuela de contracción, de unos 80 × 80 mm y aproximadamente 5 mm de espesor.
- 4.15** *Lubricante de base de petróleo* – Para emplear en la calibración de la cazuela de contracción.
- 4.16** Dispositivo de límite líquido y herramienta de ranurado – Descritos en la norma INV E–125.

## 5 RIESGOS

---

- 5.1** El equipo para calentar la parafina o la parafina caliente pueden producir quemaduras en la piel. El sobrecalentamiento de la parafina puede producir llamas repentinas; por lo tanto, se debe tener mucho cuidado al trabajar con la parafina caliente. Nunca se debe usar un dispositivo de llama abierta para calentar la parafina.

## 6 MUESTREO

---

- 6.1** Las muestras se toman de cualquier lugar que satisfaga las necesidades del ensayo. Sin embargo, se deben usar las normas INV E–101, INV E–104 e INV E–201 como guías para la selección y la conservación de las muestras obtenidas como resultado de los diferentes tipos de operaciones de muestreo.
- 6.2** Donde las operaciones de muestreo hayan conservado la estratificación natural de la muestra, los diferentes estratos se deben conservar por separado y los ensayos se deberán realizar sobre el estrato de interés, con la menor contaminación posible de los demás. Si en una obra se va a utilizar una mezcla de materiales, los suelos se deberán combinar en las mismas proporciones, para que la muestra de ensayo represente el caso real de la construcción.

- 6.3** Si los datos de este ensayo se van a usar para establecer correlaciones con otros datos de ensayos de campo o de laboratorio, se deberá utilizar el mismo material para todas las pruebas.
- 6.4** Se toma una porción representativa de la muestra total, de tamaño suficiente para obtener entre 150 y 200 g de material, pasante del tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40). Las mezclas se deben mezclar completamente en un recipiente con una espátula o cuchara, tomando una porción representativa de la masa total mediante una o más barridas con la espátula o cuchara a través de la masa mezclada.

## **7 CALIBRACIÓN Y NORMALIZACIÓN**

---

- 7.1** Cada recipiente para contracción se debe calibrar como se indica en el Anexo A. Puesto que los recipientes tiene volúmenes diferentes, cada uno deberá tener una identificación permanente.
- 7.2** La gravedad específica (o densidad) de la parafina microcristalina se debe conocer con anticipación. Generalmente, su valor lo informa el fabricante. En cualquier caso, el valor de la gravedad específica se deberá verificar inicialmente y, luego, de manera periódica.
- 7.3** El baño de agua, los aparatos de ensayo y el ambiente del laboratorio se deben mantener aproximadamente a la misma temperatura mientras se realiza el ensayo.

## **8 PREPARACIÓN DEL ESPÉCIMEN DE ENSAYO**

---

- 8.1** El espécimen de ensayo se debe preparar de acuerdo con las instrucciones de la norma INV E-125, usando la preparación húmeda o seca, excepto que el contenido de agua del suelo se debe ajustar a una consistencia tal, que fueran necesarios unos 10 golpes del dispositivo de límite líquido para cerrar la ranura en una longitud de 13 mm. La cantidad de agua requerida puede exceder del límite líquido, tanto como en 10 puntos porcentuales.

## **9 PROCEDIMIENTO**

---

- 9.1** Se selecciona un recipiente para contracción y se anotan su identificación y su volumen. Este volumen será el mismo de la pastilla de suelo húmedo. Se engrasa ligeramente el interior del recipiente.

- 9.2** Se determina la masa del recipiente engrasado y se anota este valor como la masa del recipiente vacío.
- 9.3** Se coloca en el centro del recipiente para contracción una cantidad de suelo húmedo igual o cercana a la tercera parte del volumen de éste y se fuerza para que fluya hacia los bordes, golpeándola suavemente sobre una superficie firme y acolchonada por varias hojas de papel secante u otro material similar. A continuación, se agrega una cantidad de suelo aproximadamente igual a la primera porción y se golpea el recipiente hasta que el suelo esté completamente compactado y todo el aire incluido haya sido expulsado. Se agrega más suelo y se continúan los golpecitos hasta que el recipiente se llene completamente y rebese por los lados. Se remueve el exceso de suelo en la superficie con la regla metálica y se limpia el que quede adherido a la superficie externa del recipiente.
- 9.4** Se pesa inmediatamente el recipiente para contracción con el suelo húmedo y se anota la masa obtenida, como masa del recipiente más el suelo húmedo.
- 9.5** Se deja secar la pastilla de suelo al aire, hasta que su color cambie de oscuro a claro. Luego, se introduce en el horno a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ \text{F}$ ), hasta alcanzar masa constante y se determina la masa del recipiente más la pastilla de suelo seco.
- 9.5.1** El secado de la pastilla en el aire puede generar agrietamiento del suelo, debido a las pérdidas rápidas de humedad en climas secos. Si ocurre este problema, puede ser necesario secar el espécimen en un ambiente de humedad controlada. En este caso, el cambio de color del suelo de oscuro a claro puede tardar de 1 a 2 semanas.
- 9.6** El volumen de la pastilla de suelo seco se determina de la siguiente manera:
- 9.6.1** Se ata firmemente el hilo de costura alrededor de la pastilla de suelo seco.
- 9.6.2** Sosteniéndola con el hilo, se sumerge la pastilla en la parafina fundida hasta que quede completamente cubierta. No se debe permitir el desarrollo de burbujas en la cubierta de parafina. Si éstas aparecen, se deberá usar un elemento punzante para cortarlas y se rellena el orificio con parafina.

*Nota 1: **Precaución** – La parafina fundida y el equipo asociado se encuentran a alta temperatura y, por lo tanto, se debe tener mucho cuidado para evitar la generación de llamas.*

- 9.6.3** Se retira la pastilla de suelo de la parafina fundida y se permite que ésta se enfríe.
- 9.6.4** Se determina la masa de la pastilla de suelo cubierta de parafina y se anota este valor como la masa en el aire de la pastilla de suelo seco envuelta en parafina.
- 9.6.5** Se determina la masa indicada cuando la pastilla de suelo cubierta de parafina está suspendida de la balanza y completamente sumergida en el baño de agua. Se debe tener la certeza de que no haya burbujas de aire adheridas ni a la superficie de la pastilla cubierta de parafina ni a la del hilo. El valor registrado por la balanza se anota como masa en el agua de la pastilla de suelo seco envuelta en parafina.

*Nota 2: Hay otros métodos aceptables para determinar la diferencia de masa de la pastilla de suelo en el aire y en el agua.*

## 10 CÁLCULOS

- 10.1** Se calcula la masa de la pastilla de suelo seco con la expresión:

$$m_s = m_d - m \quad [129.1]$$

Donde:  $m_s$ : Masa de la pastilla de suelo seco, g;

$m_d$ := Masa de la pastilla de suelo seco más el recipiente para contracción, g;

$m$ : Masa del recipiente para contracción vacío, g.

- 10.2** La humedad del suelo en el instante en que se colocó en el recipiente se calcula con la fórmula:

$$w = \frac{m_w - m_d}{m_s} \times 100 \quad [129.2]$$

Donde:  $w$ : Humedad del suelo en el instante en que se colocó en el recipiente para contracción, %;

$m_w$ : Masa del suelo húmedo más el recipiente para contracción, g

**10.3** El volumen de la pastilla de suelo seco se calcula como se indica a continuación.

**10.3.1** Se calcula el volumen de la pastilla de suelo seco envuelta en parafina, así:

$$V_{dx} = \frac{m_{sxa} - m_{sxw}}{\rho_w} \quad [129.3]$$

Donde:  $V_{dx}$ : Volumen de la pastilla de suelo seco envuelta en parafina,  $\text{cm}^3$ ;

$m_{sxa}$ : Masa en el aire de la pastilla de suelo seco envuelta en parafina, g;

$m_{sxw}$ : Masa de la pastilla de suelo seco envuelta en parafina, sumergida en el agua, g;

$\rho_w$ : Densidad del agua,  $\text{g/cm}^3$ .

*Nota 3: Se suele asumir que la densidad del agua es  $1.0 \text{ g/cm}^3$ . Si se desea mayor exactitud, se pueden usar correcciones por temperatura.*

**10.3.2** Se calcula la masa de parafina de la siguiente manera:

$$m_x = m_{sxa} - m_s \quad [129.4]$$

Donde:  $m_x$ : Masa de la parafina, g.

**10.3.3** Se calcula el volumen de la parafina como sigue:

$$V_x = \frac{m_x}{G_x \rho_w} \text{ o } \frac{m_x}{\rho_x} \quad [129.5]$$

Donde:  $V_x$ : Volumen de la parafina,  $\text{cm}^3$ ;

$G_x$ : Gravedad específica de la parafina;

$\rho_w$ : Densidad de la parafina,  $\text{g/cm}^3$ .

**10.3.4** Se calcula el volumen de la pastilla de suelo seco así:

$$V_d = V_{dx} - V_x \quad [129.6]$$

Donde:  $V_d$ : Volumen de la pastilla de suelo seco,  $\text{cm}^3$ .

**10.4** Se calcula el límite de contracción (LC), como un contenido de agua en relación con la masa de suelo seco, con la expresión:

$$LC = w - \left[ \frac{(V - V_d) \rho_w}{m_s} \right] \times 100 \quad [129.7]$$

Donde:  $V$ : Volumen de la pastilla de suelo húmedo (volumen del recipiente de contracción),  $\text{cm}^3$ .

**10.5** Se calcula la relación de contracción (R), por medio de la siguiente fórmula:

$$R = \frac{m_s}{V_d \times \rho_w} \quad [129.8]$$

**10.6** Se calcula el cambio volumétrico (CV) para un contenido de agua cualquiera ( $w_1$ ), superior al límite de contracción, con la expresión:

$$CV = (w_1 - LC) \times R \quad [129.9]$$

$w_1$ : Contenido de agua cualquiera, %.

**10.7** Se calcula la contracción lineal (CL) para un contenido de agua cualquiera ( $w_1$ ), superior al límite de contracción, con la fórmula:

$$CL = 100 \left[ 1 - \sqrt[3]{\frac{100}{100 + CV}} \right] \quad [129.10]$$

## 11 INFORME

---

**11.1** Se debe entregar la siguiente información:

**11.1.1** Datos de identificación y descripción visual de la muestra.

**11.1.2** Contenido inicial de agua, en porcentaje, aproximado al entero.



**11.1.3** Valores de límite de contracción, de cambio volumétrico y de contracción lineal, redondeados al entero y sin mencionar que se trata de porcentajes.

**11.1.4** Valor de la relación de contracción, aproximada a la centésima más cercana.

## 12 PRECISIÓN Y SESGO

**12.1** *Precisión* – La Tabla 129 - 1 presenta estimativos de precisión basados en el programa AMRL de la AASHTO, sobre dos muestras de competencia de un material CL con 95 % de finos, un límite líquido de 44, un límite plástico de 22, un límite de contracción de 14 y una relación de contracción de 1.92. La columna llamada “Rango aceptable entre dos resultados” cuantifica la máxima diferencia esperada entre dos medidas sobre muestras del mismo material bajo las condiciones presentadas en la primera columna. Estos valores sólo aplican a suelos similares a las dos muestras de competencia empeladas para establecer la precisión.

Tabla 129 - 1. Estimaciones de precisión

MATERIAL Y TIPO DE CONSTANTE FÍSICA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (1s)	RANGO ACEPTABLE ENTRE DOS RESULTADOS (d2s)
<i>Un solo operador:</i> Límite de contracción	0.75	2.11
Relación de contracción	0.017	0.048
<i>Multi-laboratorio:</i> Límite de contracción	1.44	4.03
Relación de contracción	0.040	0.112

**12.2** *Sesgo* – No hay valores de referencia aceptables para este método de ensayo, por cuanto el límite de contracción solo se puede definir en términos de este método de ensayo.

## 13 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 4943 – 08

## ANEXO A (Aplicación obligatoria)

### CALIBRACIÓN DEL RECIPIENTE PARA CONTRACCIÓN

#### A.1 Objeto

**A.1.1** La calibración consiste en la determinación del volumen del recipiente para contracción.

#### A.2 Preparación del aparato

**A.2.1** El recipiente para contracción, la placa de vidrio y el agua se deben encontrar a la temperatura del laboratorio antes de proceder con la calibración.

#### A.3 Procedimiento

**A.3.1** Se untan ligeramente con grasa el interior del recipiente para contracción y la superficie de la placa de vidrio. Esta última se debe engrasar para asegurar un sello hermético cuando ella y el recipiente se trasladen a la balanza.

**A.3.2** Se mide y anota la masa del recipiente más la placa de vidrio, ambos engrasados.

**A.3.3** Se coloca agua dentro del recipiente hasta que rebose.

**A.3.4** Se remueve el exceso de agua presionando la placa de vidrio sobre la parte superior del recipiente. Se verifica que se haya removido cualquier burbuja de aire del recipiente. Se secan las superficies exteriores de la placa y del recipiente.

**A.3.5** Se mide y registra la masa del recipiente engrasado más la placa engrasada más el agua.

**A.3.6** Se calcula y anota el valor de la masa de agua que ocupó el recipiente.

**A.3.7** Se calcula y anota el valor del volumen del recipiente para contracción.

**A.3.8** Se limpian completamente el recipiente y la placa y se repiten los pasos A.3.1 a A.3.7 para realizar un segundo tanteo.

**A.3.9** Si la diferencia entre los volúmenes del recipiente calculados en los dos tanteos es mayor de  $0.03 \text{ cm}^3$ , se hacen nuevos tanteos hasta que la diferencia entre dos tanteos consecutivos no exceda de  $0.03 \text{ cm}^3$ . Se calcula y anota el promedio de estos dos tanteos.

#### A.4 Cálculos

**A.4.1** La masa de agua en el recipiente para contracción se calcula así:

$$m = m_1 - m_2 \quad [129.11]$$

Donde:  $m$ : Masa de agua en el recipiente para contracción, g;

$m_1$ : Masa del recipiente engrasado más la placa engrasada más agua, g;

$m_2$ : Masa del recipiente engrasado más la placa engrasada, g.

**A.4.2** El volumen del recipiente para contracción se calcula con la ecuación:

$$V = \frac{m}{\rho} \quad [129.12]$$

Donde:  $V$ : Volumen del recipiente para contracción,  $\text{cm}^3$ ;

$\rho$ : Densidad absoluta del agua,  $\text{g}/\text{cm}^3$  (usar  $1.000 \text{ g}/\text{cm}^3$ , ver nota 3).

**Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente**

## PERMEABILIDAD DE SUELOS GRANULARES (CABEZA CONSTANTE)

INV E – 130 – 13

### 1 OBJETO

---

- 1.1** Este método de ensayo describe un procedimiento para determinar el coeficiente de permeabilidad mediante un método de cabeza constante para el flujo laminar de agua a través de suelos granulares. El procedimiento está destinado a establecer valores representativos del coeficiente de permeabilidad de suelos granulares presentes en depósitos naturales para ser colocados en terraplenes o cuando se empleen como bases bajo pavimentos. Para limitar las influencias de consolidación durante el ensayo, este procedimiento está limitado a suelos granulares alterados que no contengan más de 10 % de partículas que pasen tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200).
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E–130–07.

### 2 CONDICIONES FUNDAMENTALES DEL ENSAYO

---

- 2.1** Las siguientes condiciones ideales de ensayo son prerequisites para el flujo laminar de agua a través de suelos granulares, bajo condiciones de cabeza constante:
- 2.1.1** Continuidad de flujo, sin cambios en el volumen del suelo durante el ensayo.
  - 2.1.2** Flujo con los vacíos del suelo saturados con agua y sin burbujas de aire dentro de los mismos.
  - 2.1.3** Flujo uniforme sin cambios en el gradiente hidráulico.
  - 2.1.4** Proporcionalidad directa de la velocidad de flujo con gradientes hidráulicos por debajo de ciertos valores críticos, a partir de los cuales se inicia el flujo turbulento.
- 2.2** Todos los demás tipos de flujo que involucran saturación parcial de los vacíos del suelo, flujo turbulento, y flujo no uniforme, son de carácter transitorio y

producen coeficientes de permeabilidad variables y dependientes del tiempo; por esto, requieren condiciones y procedimientos especiales de ensayo.

### 3 EQUIPO

---

- 3.1 Permeámetros** – Como el mostrado en la Figura 130 - 1. Deberán tener cilindros para muestras con diámetro mínimo de, aproximadamente, 8 a 12 veces el tamaño máximo de partícula, de acuerdo con la Tabla 130 - 1. El permeámetro se deberá ajustar con: (1) un disco poroso o una malla reforzada adecuada para el fondo, con una permeabilidad mayor que la de la muestra de suelo, pero con aberturas suficientemente pequeñas (no mayores que el tamaño que separa el 10 % más fino del suelo) para impedir el movimiento de partículas; (2) tomas de manómetros para medir la pérdida de carga, “h”, sobre una longitud, “l”, equivalente, al menos, al diámetro del cilindro; (3) un disco poroso o una malla reforzada adecuada con un resorte adherido a la parte superior, o cualquier otro dispositivo, para aplicar una ligera presión de resorte, de 22 a 45 N (5 a 10 lbf) de carga total, cuando la placa superior se halla colocada en su sitio. Esto mantendrá la densidad y el volumen del suelo sin cambio durante la saturación y durante el ensayo de permeabilidad, para satisfacer los requerimientos prescritos en el numeral 2.1.1.
- 3.2 Tanque de cabeza constante** – Con filtro, como se muestra en la Figura 130 - 1, para suministrar agua y para remover el aire de la conexión de agua, provisto de válvulas de control adecuadas para mantener las condiciones descritas en el numeral 2.1.2.
- Nota 1: Si se prefiere, se puede emplear agua desaireada.*
- 3.3 Embudos amplios** – Equipados con conductos cilíndricos especiales de 25 mm (1") de diámetro para partículas de tamaño máximo de 9.5 mm (tamiz de 3/8"), y de 12.7 mm (1/2") de diámetro para partículas de tamaño de 2.00 mm (tamiz No. 10). La longitud del conducto deberá ser mayor que la longitud total de la cámara de permeabilidad, por lo menos en 150 mm (6").
- 3.4 Equipo para la compactación del espécimen** – Se puede emplear el equipo de compactación que se considere deseable. Se sugieren los siguientes: (1) un pisón vibratorio provisto de un pie de compactación de 51 mm (2") de diámetro; (2) un pisón de impacto con un pie apisonador de 51 mm (2") de diámetro, y (3) una varilla para pesas deslizantes de 100 g (0.25 lb) (para arenas) a 1 kg (2.25 lb) (para suelos con un contenido apreciable de grava),

que tenga una altura de caída ajustable a 102 mm (4") para arenas y a 203 mm (8") para suelos con alto contenido de grava.

- 3.5** *Bomba de vacío* – O aspirador de chorro de agua, con grifo para evacuar y saturar muestras de suelo bajo vacío completo (Figura 130 - 2).
- 3.6** *Tubos manométricos* – Con escalas métricas para medir cabeza de agua.
- 3.7** *Balanza* – De 2 kg (4.4 lb) de capacidad y posibilidad de lectura de 1 g (0.002 lb).
- 3.8** *Cucharón* – Con una capacidad de alrededor de 100 g. (0.25 lb) de suelo.
- 3.9** *Elementos misceláneos* – Termómetros, reloj con apreciación de segundos, vaso graduado de 250 ml, jarra de 1 litro, cubeta para mezclar, cucharas, etc.

Tabla 130 - 1. Diámetro del cilindro

EL TAMAÑO MÁXIMO DE PARTÍCULA SE ENCUENTRA ENTRE LOS TAMICES DE ABERTURAS	DÍAMETRO MÍNIMO DEL CILINDRO			
	MENOS DE 35 % RETENIDO EN EL TAMIZ:		MÁS DE 35 % RETENIDO EN EL TAMIZ:	
	2.00 mm (No. 10)	9.5 mm (3/8")	2.00 mm (No. 10)	9.5 mm (3/8")
2.00 mm (No. 10) y 9.5 mm (3/8")	76 mm (3")	-	114 mm (4.5 mm)	-
9.5 mm (3/8") y 19.0 mm (¾")	-	152 mm (6")	-	229 mm (9")

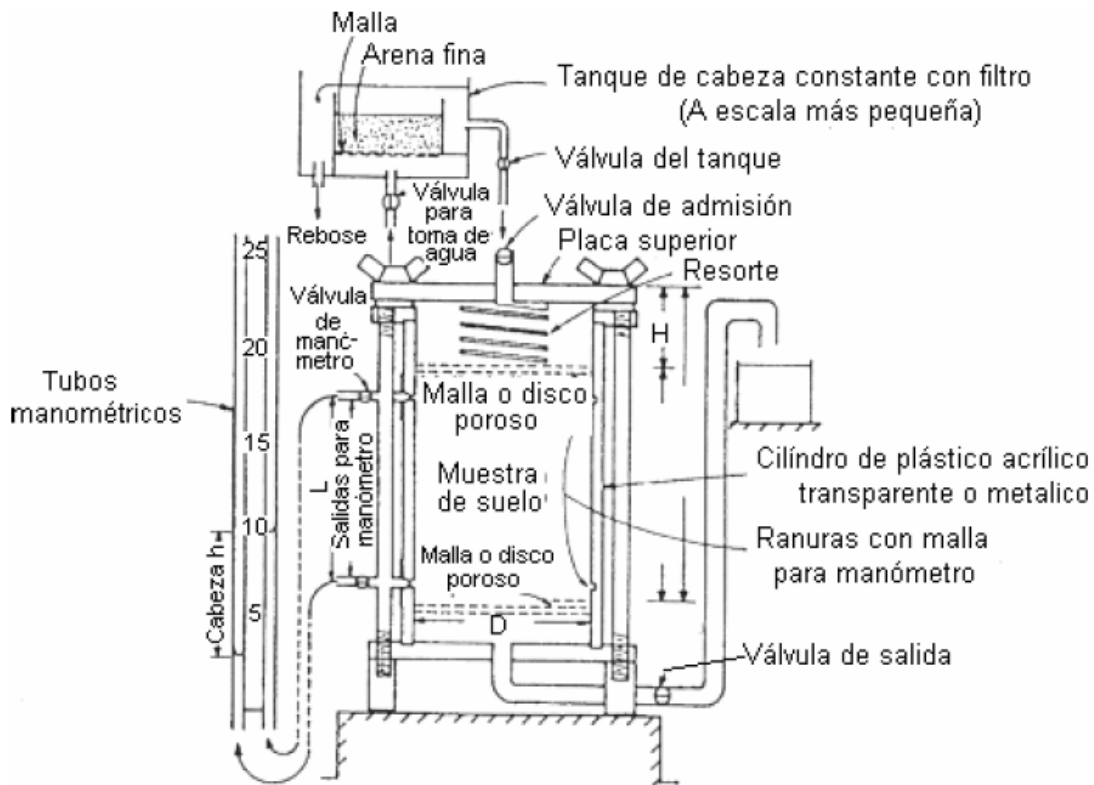


Figura 130 - 1. Permeámetro de cabeza constante

#### 4 MUESTRA

- 4.1** Se deberá escoger por cuarteo una muestra representativa de suelo granular secado al aire, que contenga menos del 10 % de pasante por el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200), y en cantidad suficiente para satisfacer las exigencias de los numerales 4.2 y 4.3.
- 4.2** Se deberá realizar un análisis granulométrico, de acuerdo con la norma INV E-123, sobre una muestra representativa de la totalidad del suelo, antes del ensayo de permeabilidad. Las partículas mayores de 19.0 mm (3/4") deberán ser separadas por tamizado. Los sobretamaños no deberán ser empleados para el ensayo de permeabilidad, pero su porcentaje deberá ser reportado.

*Nota 2: Para establecer valores representativos de coeficientes de permeabilidad para el intervalo que pueda existir en la situación que se esté investigando, se deberán obtener para ensayo muestras de los suelos más finos, intermedios y más gruesos.*



- 4.3 Del material del cual se han removido los sobretamaños (ver numeral 4.2) se escoge, mediante cuarteo, una cantidad aproximadamente igual al doble de la requerida para llenar la cámara del permeámetro.

## 5 PREPARACIÓN

- 5.1 El tamaño del permeámetro que se va a emplear deberá cumplir lo estipulado en la Tabla 130 - 1.

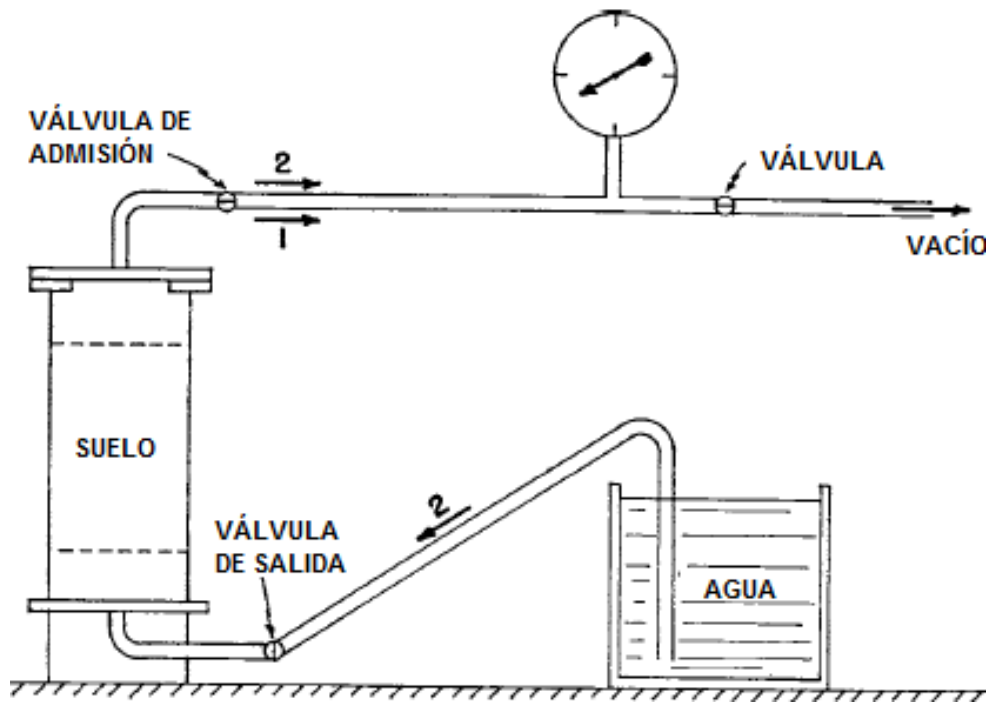


Figura 130 - 2. Dispositivo para evacuar y saturar el espécimen

- 5.2 Se deben efectuar las siguientes medidas iniciales en centímetros o en centímetros cuadrados según corresponda, y se anotan en el formato de informe (Figura 130 - 3): el diámetro interior "D" del permeámetro, la longitud "L" entre las salidas de manómetro; la profundidad " $H_1$ ", medida en cuatro puntos simétricamente espaciados desde la superficie superior de la placa tope del cilindro de permeabilidad, hasta la parte superior de la piedra porosa superior, o de la malla colocada temporalmente sobre la placa porosa o malla inferior. Esto deduce automáticamente el espesor de la placa porosa superior o malla, de las medidas de altura usadas para determinar el volumen del suelo colocado en el cilindro de permeabilidad. Se usa una placa tope duplicada, que tenga cuatro aberturas grandes simétricamente colocadas, a través de las

cuales se puedan efectuar las medidas requeridas para determinar el valor promedio de " $H_1$ ". Se calcula el área de la sección transversal, "A", de la muestra.

- 5.3** Se toma una pequeña parte de la muestra escogida como se prescribe en el numeral 4.3, para las determinaciones de humedad. Se anota la masa de la muestra sobrante secada al aire (Ver numeral 4.3),  $M_1$ , para las determinaciones de peso unitario.
- 5.4** Se coloca el suelo preparado mediante uno de los procedimientos siguientes, en capas delgadas de espesor uniforme tras la compactación, aproximadamente igual al tamaño máximo de partícula, pero no menor de unos 15 mm (0.60").
- 5.4.1** Para suelos con un tamaño máximo de 9.5 mm (3/8") o menos; se coloca en el aparato de permeabilidad el embudo de tamaño apropiado, como se prescribió en el numeral 3.3, con el conducto en contacto con la placa porosa inferior o malla, o con la capa previamente formada, y se llena el embudo con suelo suficiente para formar una capa, tomando suelo de diferentes áreas de la muestra contenida en la bandeja. Se levanta el embudo a una altura de 15 mm (0.60"), o aproximadamente igual al espesor de la capa no consolidada que se va a conformar, y se distribuye el suelo con un movimiento lento en espiral, trabajando desde el perímetro del aparato hacia el centro, de manera que se forme una capa uniforme. Se remezcla el suelo que se encuentra en la bandeja para cada capa sucesiva, con el fin de reducir la segregación que se hubiera podido producir.
- 5.4.2** Para suelos con un tamaño máximo mayor de 9.5 mm (3/8"), se distribuye el suelo con un cucharón. Se puede lograr un extendido uniforme deslizando el cucharón con suelo en posición aproximadamente horizontal con una leve pendiente descendente a lo largo de la superficie interior del dispositivo hasta llegar al fondo o hasta la capa formada, inclinando luego el cucharón y levantándolo hacia el centro con un sencillo movimiento lento, lo que permite al suelo correr suavemente sobre el cucharón sin segregación. Se gira suficientemente el cilindro para la cucharada siguiente, progresando así en torno al perímetro interior para formar una capa uniforme compactada, de espesor igual al tamaño máximo de partícula.

Ensayo No. \_\_\_\_\_ Fecha de ensayo \_\_\_\_\_  
 Localización de la muestra \_\_\_\_\_ Fecha muestra \_\_\_\_\_ Informe \_\_\_\_\_  
 Sondeo \_\_\_\_\_ Muestra \_\_\_\_\_ Profundidad \_\_\_\_\_

a) DESCRIPCION DEL MATERIAL \_\_\_\_\_  
 Para ser empleado: \_\_\_\_\_

b) DETERMINACION DEL PESO UNITARIO  
 Diámetro,  $\phi$ , cm \_\_\_\_\_ Altura antes, H1 \_\_\_\_\_  
 Área, A,  $\text{cm}^2$  \_\_\_\_\_ Altura después, H2 \_\_\_\_\_  
 Longitud, L, cm \_\_\_\_\_ Altura neta, cm \_\_\_\_\_  
 Contenido de humedad (secado al aire) \_\_\_\_\_  
 D (máx) \_\_\_\_\_ Masa unitaria seca,  $\text{g/cm}^3$  (lb/pe<sup>3</sup>) D \_\_\_\_\_  
 D (mín) \_\_\_\_\_ Relación de vacíos, e. \_\_\_\_\_  
 Densidad relativa, D.R. \_\_\_\_\_

c) ENSAYO DE PERMEABILIDAD (GRADO DE COMPACTACIÓN)

Enayo No	MANOMETRO		Cabeza h	Q $\text{cm}^3$	t (s)	Q / (At)	h / L	Temperatura $^{\circ}\text{C}$	k (cm /seg)
	M1	M2							
1									
2									
3									
4									
5									
6									

Figura 130 - 3. Formato para la recolección de los datos del ensayo de permeabilidad (cabeza constante)

**5.5** Se compactan capas sucesivas de suelo a la densidad relativa deseada, empleando un procedimiento apropiado, como se describe a continuación, hasta una altura de alrededor de 2 cm (0.8") por encima de la salida del manómetro superior.

**5.5.1** *Densidad mínima (densidad relativa del 0 %)* – Se continúan colocando capas de suelo en forma sucesiva mediante uno de los procedimientos descritos en los numerales 5.4.1 o 5.4.2, hasta cuando el aparato esté lleno al nivel apropiado.

**5.5.2 Densidad máxima (densidad relativa del 100 %):**

**5.5.2.1 Compactación mediante el pisón vibratorio** – Se compacta totalmente cada capa de suelo con el pisón vibratorio mediante golpes distribuidos uniformemente sobre la superficie de la capa, siguiendo una trayectoria regular. La presión de contacto y la duración de la acción vibratoria en cada punto no deberán hacer que el suelo escape por debajo de los bordes de la pata de compactación, tendiendo así a aflojar la capa. Se debe realizar un número suficiente de coberturas para producir la densidad máxima, lo que prácticamente queda en evidencia cuando no haya movimiento visible de las partículas superficiales adyacentes a los bordes del pisón de compactación.

**5.5.2.2 Compactación mediante el pisón de peso deslizante** – Se compacta completamente cada capa de suelo mediante golpes de compactación uniformemente distribuidos sobre la superficie de la capa. Se ajusta la altura de caída y se proporcionan suficientes coberturas para producir la densidad máxima, de acuerdo con el tamaño de las partículas y con el contenido de grava del suelo.

**5.5.2.3 Compactación mediante otros métodos** – La compactación se puede cumplir mediante otros métodos aprobados, como los proporcionados mediante equipos vibratorios para empaque, con los cuales se debe tener cuidado para obtener un espécimen uniforme sin segregaciones de partículas por sus tamaños.

**5.5.3 Densidad relativa intermedia entre 0 y 100 %** – En un recipiente separado del mismo diámetro que el cilindro de permeabilidad, se ajusta la compactación mediante tanteos, para obtener valores reproducibles de la densidad relativa. Se compacta el suelo en el cilindro de permeabilidad mediante estos procedimientos en capas delgadas, hasta una altura de alrededor de 2 cm (0.80") por encima de la salida del manómetro superior.

*Nota 3: Con el fin de relacionar sistemáticamente y de manera representativa las condiciones de densidad relativa que pueden regir en depósitos naturales o en terraplenes compactados, se deberá efectuar una serie de ensayos de permeabilidad que cubra el rango de las densidades relativas en el campo.*

**5.6 Preparación del espécimen para el ensayo de permeabilidad:**

- 5.6.1** Se nivela la superficie superior del suelo, colocando la placa porosa o la malla superior en posición y rotándola suavemente hacia adelante y hacia atrás.
- 5.6.2** Se miden y anotan: la altura final de la muestra, ( $H_1 - H_2$ ), midiendo la profundidad  $H_2$  desde la superficie superior de la placa tope perforada empleada para medir  $H_1$ , hasta el tope de la placa porosa superior o malla, en cuatro puntos simétricamente dispuestos, después de comprimir ligeramente el resorte para asentar la placa porosa o la malla durante las medidas; la masa final del suelo secado al aire empleado en el ensayo ( $M_1 - M_2$ ), pesando el remanente de suelo dejado en la bandeja ( $M_2$ ). Se calculan y anotan las masas unitarias, la relación de vacíos, y la densidad relativa de la muestra de ensayo.
- 5.6.3** Con el empaque en su sitio, se presiona hacia abajo la placa superior contra el resorte y se fija con seguridad en la parte superior del cilindro del permeámetro, produciendo un sello hermético. Esto satisface la condición descrita en el numeral 2.1.1, en el sentido de mantener la densidad inicial sin cambio significativo de volumen durante el ensayo.
- 5.6.4** Empleando una bomba de vacío o una aspiradora adecuada, se aspira la muestra bajo 500 mm (20") de mercurio, como mínimo, durante 15 minutos, para remover el aire de los vacíos y el adherido a las partículas. Se continúa la operación mediante una saturación lenta de la muestra de abajo hacia arriba (Figura 130 - 2) bajo vacío total, con el fin de liberar cualquier aire restante en la muestra. La saturación continuada de la muestra se puede mantener más adecuadamente mediante el uso de: (1) agua desaireada o (2) de agua mantenida a una temperatura de flujo suficientemente alta para causar una disminución del gradiente de temperatura en el espécimen durante el ensayo. En el ensayo se podrá emplear agua natural o agua con bajo contenido de minerales (nota 4), pero se deberá anotar en el formato de ensayo, en cualquier caso, el fluido utilizado. Esto satisfará la condición descrita en el numeral 2.1.2 para la saturación de los vacíos del suelo.

*Nota 4: Agua natural es la que se presenta in situ en el suelo o en la roca. Si es posible, se debe emplear esta agua, pero (al igual que el agua desaireada), puede ser un refinamiento poco práctico para la ejecución de ensayos en gran escala.*

- 5.6.5** Después de saturado el espécimen y de que el permeámetro se encuentre lleno de agua, se cierra la válvula del fondo en el tubo de

desagüe (Figura 130 - 2) y se desconecta el vacío. Se debe tener cuidado de constatar que el sistema de flujo de permeabilidad y el sistema de manómetros se hallen libres de aire y estén trabajando satisfactoriamente. Se llena el tubo de admisión con agua proveniente del tanque de carga constante, abriendo ligeramente la válvula del filtro del tanque. Se conecta el tubo de admisión al tope del permeámetro, se abren ligeramente la válvula de admisión y los grifos del manómetro de salida para permitir que fluya el agua, eliminándose así el aire. Se conectan los tubos manométricos de agua a las salidas de manómetro y se llenan con agua para remover el aire. Se cierra la válvula de admisión y se abre la de desagüe, para que el agua alcance en los tubos manométricos un nivel estable bajo cabeza cero.

## 6 PROCEDIMIENTO

---

- 6.1** Se abre ligeramente la válvula de admisión del tanque filtrante para la primera prueba en las condiciones descritas en el numeral 2.1.3, demorándose las medidas de gasto y de cabeza hasta que se alcance una condición de cabeza estable sin que exista variación apreciable de los niveles de los manómetros. Se miden y anotan el tiempo, "t", la cabeza, "h", (diferencia de nivel en los manómetros), el gasto, "Q", y la temperatura del agua, "T".
- 6.2** Se repiten las pruebas con incrementos de cabeza de 0.5 cm con el fin de establecer exactamente la región de flujo laminar con velocidad,  $v$  (siendo  $v = Q/At$ ), directamente proporcional al gradiente hidráulico, "i" (siendo  $i = h/L$ ). Cuando se hagan patentes las desviaciones de la relación lineal, indicando con ello la iniciación de condiciones de flujo turbulento, se pueden emplear intervalos de cabeza de 1 cm para llevar el ensayo suficientemente dentro de la zona del flujo turbulento, con el fin de definir esta zona, si esto fuere significativo para las condiciones del campo.

*Nota 5: Se requieren valores mucho más bajos del gradiente hidráulico  $h/L$ , de los que generalmente se reconocen, para asegurar condiciones de flujo laminar. Se sugieren los siguientes valores: compacidad suelta, relaciones de  $h/L$  de 0.2 a 0.3, y compacidad densa, relaciones de  $h/L$  de 0.3 a 0.5. Los valores menores de  $h/L$  se aplican a los suelos más gruesos y los mayores a los suelos más finos.*

- 6.3** Al concluir el ensayo de permeabilidad, se drena y se examina la muestra para establecer si era esencialmente homogénea y de carácter isotrópico. Cualquier clase de rayas o capas horizontales alternadas claras y oscuras evidencian la segregación de finos.

## 7 CÁLCULOS

7.1 Se calcula el coeficiente de permeabilidad, k, así:

$$k = \frac{Q L}{A t h} \quad [130.1]$$

- Donde: k: Coeficiente de permeabilidad;
- Q: Gasto, es decir cantidad de agua descargada;
- L: Distancia entre manómetros;
- A: Área de la sección transversal del espécimen;
- t: Tiempo total de desagüe;
- h: Diferencia de cabeza en los manómetros.

7.2 Se corrige la permeabilidad a 20° C (68° F), multiplicando "k" por la relación entre la viscosidad de agua a la temperatura del ensayo y la viscosidad del agua a 20° C (Tabla 130 - 2).

Tabla 130 - 2. Relación entre la viscosidad del agua y la temperatura a una presión de 101.325 kPa

TEMPERATURA °C	VISCOSIDAD DINÁMICA kg/m.s	TEMPERATURA °C	VISCOSIDAD DINÁMICA kg/m.s
0.00	0.001792	21.00	0.000979
1.00	0.001731	22.00	0.000955
2.00	0.001674	23.00	0.000933
3.00	0.001620	24.00	0.000911
4.00	0.001569	25.00	0.000891
5.00	0.001520	26.00	0.000871
6.00	0.001473	27.00	0.000852
7.00	0.001429	28.00	0.000833
8.00	0.001386	29.00	0.000815
9.00	0.001346	30.00	0.000798
10.00	0.001308	31.00	0.000781
11.00	0.001271	32.00	0.000765
12.00	0.001236	33.00	0.000749
13.00	0.001202	34.00	0.000734

TEMPERATURA °C	VISCOSIDAD DINÁMICA kg/m.s	TEMPERATURA °C	VISCOSIDAD DINÁMICA kg/m.s
14.00	0.001170	35.00	0.000720
15.00	0.001139	36.00	0.000705
16.00	0.001109	37.00	0.000692
17.00	0.001081	38.00	0.000678
18.00	0.001054	39.00	0.000666
19.00	0.001028	40.00	0.000653
20.00	0.001003	41.00	0.0003414

## 8 INFORME

---

**8.1** El informe del ensayo de permeabilidad deberá incluir la siguiente información:

- 8.1.1** Proyecto, fechas, número de la muestra, sitio, y cualquier otra información pertinente.
- 8.1.2** Análisis granulométrico, clasificación, tamaño máximo de partícula y porcentaje de cualquier material de sobretamaño no utilizado.
- 8.1.3** Masa unitaria seca, relación de vacíos, densidad relativa a la cual se colocó el material, densidad máxima y densidad mínima.
- 8.1.4** Declaración de cualquier desviación respecto de estas condiciones de ensayo, de manera que los resultados puedan ser evaluados y empleados.
- 8.1.5** Datos completos de ensayo, como se indican en el formato para los datos de ensayo (Figura 130 - 3).
- 8.1.6** Curvas que representen la velocidad,  $Q/(At)$ , contra el gradiente hidráulico,  $h/L$ ; que cubran los rangos de las identificaciones del suelo y de las densidades relativas.

## 9 NORMAS DE REFERENCIA

---

ASTM D 2434 – 68 (2006)



## pH DE LOS SUELOS

INV E – 131 – 13

### 1 OBJETO

---

- 1.1** Esta norma de ensayo cubre la determinación del pH de los suelos, para usos diferentes de los relacionados con la corrosión. Esta determinación se aplica en campos tales como el agrícola, el ambiental y el de recursos naturales. Mediante esta norma se determina el grado de acidez o alcalinidad de muestras de suelo suspendidas en agua y en una solución 0.01 M de cloruro de calcio. Las medidas en ambos líquidos son necesarias para definir completamente el pH del suelo. Esta variable es útil en la determinación de la solubilidad de minerales del suelo y de la movilidad de iones en éste, así como en la evaluación de la viabilidad del ambiente planta – suelo.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E–131–07.

### 2 RESUMEN DEL MÉTODO

---

- 2.1** Se hacen medidas del pH de los suelos en ambas suspensiones (en agua y en una solución de cloruro de calcio) con un potenciómetro que tiene un sistema de electrodos sensitivos al pH (Método A) o usando un papel sensible (Método B). El potenciómetro se calibra con soluciones amortiguadoras (buffer) de pH conocido. El Método B es menos preciso y se debe usar únicamente para hacer un estimativo aproximado del pH del suelo. Siempre se deberá usar el método A, salvo que se especifique lo contrario.

### 3 IMPORTANCIA Y USO

---

- 3.1** El pH del suelo es una variable útil en la determinación de la solubilidad de minerales del suelo, la movilidad de iones en éste y en la evaluación de la viabilidad del ambiente planta – suelo.
- 3.2** Las medidas de pH se hacen en agua y en una solución de cloruro de calcio, porque el calcio desplaza parte del aluminio intercambiable. La baja intensidad iónica se opone al efecto de dilución sobre el equilibrio de intercambio, fijando la concentración salina de la solución cerca de la esperada en la solución de suelo. Los valores de pH obtenidos en la solución de cloruro de calcio son algo

más bajos que los medidos en agua, debido a la liberación de más iones de aluminio, los cuales, entonces, hidrolizan. Por lo tanto, se requieren ambas medidas para definir en su totalidad el carácter del pH del suelo.

- 3.3** Para los fines de este método de ensayo, el suelo por ensayar debe ser tamizado por el tamiz de 2 mm (No. 10). Las medidas que se realicen con este método sobre suelos o fracciones de suelo que tengan partículas de más de 2 mm, pueden carecer de validez. Si se usan suelos o fracciones de suelo mayores de 2 mm, ello se deben anotar en el informe, puesto que los resultados podrían diferir significativamente.
- 3.4** Toda agua usada en este método de prueba debe ser ASTM Tipo III o superior. El agua se deberá preparar por destilación, intercambio iónico, osmosis inversa o mediante una combinación de ellos.

## 4 INTERFERENCIAS

---

- 4.1** Cuando el pH se determina con un probador, es posible que se presenten interferencias debido a un efecto de suspensión o de sedimentación potencial. El efecto de suspensión se puede mitigar prestando atención a lo indicado en el numeral 8.1.

## 5 EQUIPO

---

- 5.1** *Método A, medidor de pH* – Potenciómetro equipado con un sistema de electrodos de vidrio – calomelano. Se deben seguir las instrucciones del fabricante para el uso del medidor. También, es aceptable un sistema de electrodos de cloruro de plata u otro similar.
- 5.2** *Método B, papel medidor de pH* – Papel pH sensible a valores de pH en el rango entre 1 y 12, con resolución a dos décimas de pH.
- 5.3** *Frascos volumétricos* – De 1 y 2 litros de capacidad, para elaborar y guardar las soluciones.
- 5.4** *Recipientes pequeños de vidrio* – Para colocar las mezclas durante las medidas de pH.

## 6 REACTIVOS

- 6.1** *Pureza de los reactivos* – Se deben emplear químicos de grado reactivo en todas las pruebas. Se pueden usar otros grados, con tal de que se haya comprobado que el reactivo tiene la suficiente pureza para permitir su uso sin disminuir la precisión de la determinación.
- 6.2** *Pureza del agua* – Toda agua usada en este método de prueba debe ser ASTM Tipo III o superior. El agua se deberá preparar por destilación, intercambio iónico, osmosis inversa o mediante una combinación de ellos.
- 6.3** *Solución amortiguadora (buffer) de ftalato ácido de potasio (0.05M)* – Se disuelven 10.21 g de ftalato de potasio (secado 1 hora a 105° C) en agua y se diluye hasta 1 litro. El pH de esta solución deberá ser 4.0 a 20° C. La solución se debe proteger contra la evaporación y la contaminación con hongos y se debe reemplazar siempre que se advierta la presencia de éstos. El pH de la solución no debe cambiar su valor entre 5 y 37° C.
- 6.4** *Solución stock de cloruro de calcio (1.0 M)* – En un frasco volumétrico se disuelven 147 g de  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  en 1 litro de agua, se deja enfriar y se mezcla.
- 6.5** *Solución de trabajo cloruro de calcio (0.01 M)* – Se diluyen 20 ml de la solución stock de  $\text{CaCl}_2$  1.0 M en agua, hasta completar 2 litros. El pH de esta solución debe estar entre 5 y 7.
- 6.6** *Solución amortiguadora de fosfato (0.025 M)* – Se disuelven 3.40 g de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  y 3.55 g de  $\text{KH}_2\text{HPO}_4$  en agua, diluyendo a 1 litro. Se secan las sales durante 2 horas a 130° C antes de usar. El pH de esta solución deberá ser 6.9 a 20° C. El efecto de temperatura es como sigue:

° C	pH
0	7.0
10	6.9
20	6.9
30	6.8
40	6.8

## 7 CALIBRACIÓN DEL MEDIDOR DE pH

---

- 7.1** El medidor de pH se calibra usando el ftalato ácido de potasio y soluciones amortiguadoras de fosfato. El ajuste del medidor de pH se debe hacer siguiendo las instrucciones del fabricante.

## 8 PROCEDIMIENTO

---

- 8.1** Al tomar medidas con el electrodo de pH, se debe colocar éste dentro de la suspensión parcialmente asentada, para mitigar el efecto de la suspensión.
- 8.2** Para ambos métodos, se comienza con un suelo secado al aire que ha sido pasado por el tamiz de 2 mm (No. 10), para retirar las fracciones gruesas del suelo. El secado del suelo al aire es necesario para poder tamizarlo y controlar la cantidad de agua presente en el momento de la medición.
- 8.3** *pH en agua destilada* - Para ambos métodos, se pesan aproximadamente 10 g de suelo secado al aire. Se coloca el suelo en un recipiente de vidrio y se añaden unos 10 ml de agua. Se mezcla completamente y se deja reposar por 1 hora.
- 8.3.1** *Método A* – Se lee el pH en el medidor de pH.
- 8.3.2** *Método B* – Se lee el pH en el papel pH.
- 8.4** *pH en solución de cloruro de calcio 0.01 M* - Para ambos métodos, se pesan aproximadamente 10 g de suelo secado al aire. Se coloca el suelo en un recipiente de vidrio y se añaden unos 10 ml de solución de CaCl<sub>2</sub> 0.01 M. Se mezcla completamente y se deja reposar por 1 hora.
- 8.4.1** *Método A* – Se lee el pH en el medidor de pH.
- 8.4.2** *Método B* – Se lee el pH en papel pH.
- 8.5** La mezcla deberá encontrarse aproximadamente a la temperatura ambiente (15 a 25°C) en el momento de medir el pH.

## 9 INFORME

---

- 9.1** Se registra el pH del suelo con un decimal. Se debe mencionar cuál de las medidas de pH se realizó en agua y cuál en la solución de cloruro de calcio. También, se debe especificar si las determinaciones fueron hechas con el método A o con el método B. Si se usan fracciones de tamaños diferentes a las tamizadas por el tamiz de 2 mm (No. 10), ello se debe quedar consignado en el informe, puesto que los resultados podrían variar significativamente.

## 10 PRECISIÓN Y SESGO

---

### 10.1 *Precisión:*

- 10.1.1** *Precisión obtenida en un laboratorio* – Las desviaciones estándar dentro de un laboratorio, son: para el método A, 0.031 unidades de pH para la mezcla con agua y 0.139 unidades de pH para la mezcla con cloruro de calcio. Por lo tanto, los resultados de dos pruebas conducidas correctamente en el mismo laboratorio o en laboratorios diferentes, no deberían diferir en más de 0.065 unidades de pH para la mezcla con agua, ni en más de 0.389 unidades de pH para la mezcla con cloruro de calcio. Las desviaciones estándar dentro de un laboratorio para el método B son de 0.189 unidades de pH para la mezcla con agua y 0.212 unidades de pH para la mezcla con cloruro de calcio. Por lo tanto, los resultados de dos pruebas conducidas correctamente en el mismo laboratorio o en laboratorios diferentes, no deberían diferir en más de 0.53 unidades de pH para la mezcla con agua, ni en más de 0.60 unidades de pH para la mezcla con cloruro de calcio.

*Nota 1: La precisión presentada sobre el método A, fue determinada por el Centro Técnico Nacional del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos América. En su evaluación, se usaron 174 muestras duplicadas para la mezcla con agua y 32 muestras duplicadas al ensayar la mezcla con cloruro de calcio. La precisión presentada sobre el método B fue determinada por la Agencia de Higiene Ambiental del Ejército de los Estados Unidos de América. En su evaluación, se usaron 25 muestras duplicadas para la prueba de cada mezcla.*

- 10.1.2** *Precisión entre laboratorios* – La desviación estándar entre laboratorios no ha sido determinada para ninguno de los dos métodos.

- 10.2** *Sesgo* – No hay ningún valor de referencia aceptado para este método de prueba; por lo tanto, el sesgo no se puede determinar.

**11 NORMAS DE REFERENCIA**

---

ASTM D 4972 – 01 (2007)

## DETERMINACIÓN DE SUELOS EXPANSIVOS

### INV E – 132 – 13

#### 1 OBJETO

---

- 1.1 Esta norma se refiere a la determinación del potencial de expansión de un suelo fino.
- 1.2 Esta norma reemplaza la norma INV E–132–07.

#### 2 IMPORTANCIA Y USO

---

- 2.1 Los suelos finos, en especial los cohesivos, se expanden o se contraen a medida que pasan del estado seco al húmedo o viceversa. Esta alteración de humedad puede producir cambios volumétricos que crean movimientos diferenciales de importancia en las estructuras, ocasionando graves agrietamientos en pavimentos, pisos, muros y cimentaciones.
- 2.2 Los suelos con características expansivas deben ser reconocidos oportunamente, con el fin de evaluar apropiadamente su estabilidad como material de fundación. La literatura presenta muchos criterios para predecir el carácter expansivo de los suelos, unos más acercados a la realidad que otros. Ejemplos de ellos se presentan en la Sección 3.
- 2.3 En la Sección 4 se presenta un método de ensayo para determinar un parámetro, denominado índice de expansión libre, empleando elementos de laboratorio de insignificante sofisticación. La experiencia indica que existe una mayor consistencia entre los resultados de este ensayo y los obtenidos mediante pruebas edométricas, que la obtenida a partir de los límites de consistencia.

#### 3 DETECCIÓN DE SUELOS EXPANSIVOS

---

- 3.1 Existen muchos criterios para identificar y predecir el potencial de expansión de un suelo fino a partir de los límites líquido y plástico (Normas INV E–125 e INV E–126). La Tablas 132 - 1 y 132 - 2 muestran dos ejemplos de ellos:

Tabla 132 - 1. Predicción de la expansividad a partir del límite líquido

GRADO DE EXPANSIÓN	LÍMITE LÍQUIDO	
	CHEN	NORMA IS 1498
Bajo	< 30	20 – 35
Medio	30 – 40	35 – 50
Alto	40 – 60	50 – 70
Muy alto	> 60	70 - 90

Tabla 132 - 2. Predicción de la expansividad a partir del índice de plasticidad

GRADO DE EXPANSIÓN	ÍNDICE DE PLASTICIDAD		
	HOLTZ Y GIBBS	CHEN	NORMA IS 1498
Bajo	< 20	0 – 15	< 12
Medio	12 – 34	10 – 35	12 – 23
Alto	23 – 45	20 – 55	23 – 32
Muy alto	> 32	> 35	> 32

3.2 También, se han desarrollado criterios a partir de los resultados de otros ensayos de sencilla o elaborada ejecución, como lo muestra la Tabla 132 - 3.

Tabla 132 - 3. Predicción de la expansividad a partir de otras medidas

GRADO DE EXPANSIÓN	CONTENIDO DE COLOIDES (% MENOR DE 0.001 mm)	LÍMITE DE CONTRACCIÓN	ÍNDICE DE CONTRACCIÓN <sup>A</sup>	ÍNDICE DE EXPANSIÓN LIBRE <sup>B</sup> (%)	PORCENTAJE DE EXPANSIÓN EN ODÓMETRO (HOLTZ Y GIBBS) <sup>C</sup>	PORCENTAJE DE EXPANSIÓN EN EDÓMETRO (SEED et al.) <sup>D</sup>
Bajo	< 17	> 13	< 15	< 50	< 10	0 – 1.5
Medio	12 – 27	8 – 18	15 – 30	50 – 100	10 – 20	1.5 – 5.0
Alto	18 – 37	6 – 12	30 – 60	100 – 200	20 – 30	5 – 25
Muy alto	> 27	< 10	> 60	> 200	> 30	> 25

<sup>A</sup> Índice de contracción = Límite plástico – Límite de contracción

<sup>B</sup> Ver Sección 4

<sup>C</sup> De condición seca a saturada bajo una sobrecarga de 7 kPa

<sup>D</sup> Muestra compactada, en condición saturada bajo una sobrecarga de 7 kPa



- 3.3** Mediante el aparato de expansión desarrollado por Lambe, se puede medir la presión de expansión máxima desarrollada por un espécimen de suelo remoldeado y compactado en laboratorio bajo condiciones normalizadas, después de 2 horas de inmersión (índice de expansión), para predecir en forma preliminar su Cambio Volumétrico Potencia (CVP), norma INV E-120, así:

CVP	CONDICIÓN PARA EL SUELO
< 2	No crítica
2 – 4	Marginal
4 – 6	Crítica
> 6	Muy crítica

- 3.4** Asimismo, se puede obtener indicación del carácter expansivo del suelo, a partir de la expansión lineal medida en especímenes sumergidos para el ensayo de CBR (Ver norma INV E-148).

## 4 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE EXPANSIÓN LIBRE DE LOS SUELOS

### 4.1 Definición

- 4.1.1** El índice de expansión libre es el aumento de volumen que sufre un suelo sin restricciones externas, cuando se sumerge en agua.

### 4.2 Equipo y materiales

- 4.2.1** *Tamiz* – De 425  $\mu\text{m}$  de abertura (No. 40).
- 4.2.2** *Horno* – Termostáticamente controlado y que pueda conservar temperaturas constantes y uniformes hasta  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ \text{F}$ ).
- 4.2.3** *Probetas graduadas* – De 100 ml de capacidad.
- 4.2.4** *Varilla de vidrio* – Para agitar las suspensiones de suelo.
- 4.2.5** *Balanza* – Con capacidad de 500 g y sensibilidad de 0.01 g.
- 4.2.6** *Agua destilada o desmineralizada*.
- 4.2.7** *Kerosene*.

### 4.3 Procedimiento

- 4.3.1** De una porción de suelo completamente mezclado que pase el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40) y recién secado al horno, se toman dos muestras, de 10 g cada una.

*Nota 1: En el caso de suelos altamente expansivos, como la bentonita, la muestra debe ser de solo 5 g o, alternativamente, se deberá usar una probeta de 250 ml para los 10 g de muestra.*

- 4.3.2** Se coloca cada muestra en una probeta graduada de 100 ml de capacidad.

- 4.3.3** Cuidadosamente, se llena uno de los cilindros con kerosene y el otro con agua destilada, hasta la marca de 100 ml.

*Nota 2: Como el kerosene es un líquido no polar, no producirá ninguna expansión en el suelo.*

*Nota 3: Se puede usar tetracloruro de carbono ( $\text{CCl}_4$ ) en lugar de kerosene.*

- 4.3.4** Mediante agitación con la varilla de vidrio, se remueve el aire atrapado en los cilindros.

- 4.3.5** Se permite el asentamiento de las muestras en ambos cilindros.

- 4.3.6** Se dejan los cilindros en reposo por un lapso de, cuando menos, 24 horas, para que las muestras de suelo alcancen el equilibrio volumétrico.

- 4.3.7** Se anota el volumen que alcanza el suelo en cada cilindro (Figura 132 - 1).

### 4.4 Cálculos

- 4.4.1** Se determina el índice de expansión libre (IEL) mediante la expresión:

$$\text{IEL} = \frac{V_w - V_k}{V_k} \times 100 \quad [132.1]$$

Donde:  $V_w$ : Volumen de la muestra, leído en la probeta que contiene agua destilada;

$V_k$ : Volumen de la muestra, leído en la probeta que contiene kerosene.

## 4.5 Informe

### 4.5.1 El informe debe contener:

- 4.5.1.1 Identificación de la muestra (procedencia, descripción visual).
- 4.5.1.2 Granulometría y límites de consistencia (normas INV E-123, INV E-125 y INV E-126).
- 4.5.1.3 Clasificación por las normas INV E-180 e INV E-181.
- 4.5.1.4 Lecturas obtenidas en cada uno de los cilindros y el valor calculado del índice de expansión libre

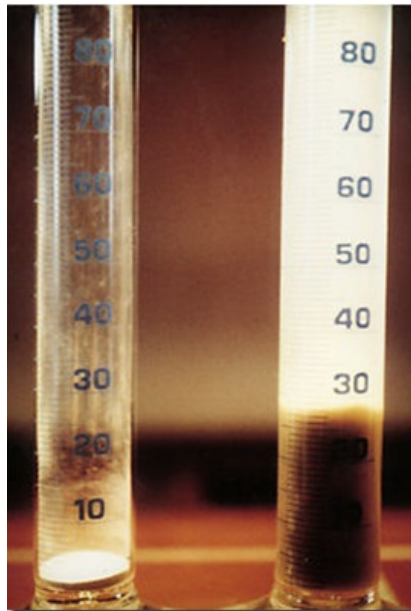


Figura 132 - 1. Volumen final de las muestras en los dos cilindros

## 5 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

PUVVADI V. SIVAPULLAIA, THALLAK G. SITHARAM & KANAKAPURA S. SUBBA RAO, "Modified free swell index for clays", *Geotechnical Testing Journal*, GTJODJ, Vol. 10, No. 2, pp 80-85, June 1987

A. SRIDHARAN & K. PRAKASH, "Classification procedures for expansive soils", *Proc. Institution of Civil Engineers*, 143, pp 235-240, October 2000

IS: 2720 (Part 40) 1977

**Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente**

## EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADOS FINOS

INV E – 133 – 13

### 1 OBJETO

---

- 1.1** Este ensayo tiene por objeto determinar, bajo condiciones normalizadas, las proporciones relativas de polvo y material de apariencia arcillosa o finos plásticos presentes en suelos o agregados finos de tamaño inferior a 4.75 mm. El término "equivalente de arena" expresa el concepto de que la mayoría de los suelos granulares y los agregados finos son mezclas de arena y partículas gruesas deseables, y de polvo y finos arcillosos o plásticos indeseables.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E–133–07.

### 2 DEFINICIONES

---

- 2.1** Las siguientes definiciones son aplicables específicamente a esta norma de ensayo:
- 2.1.1** *Agregado fino* – Agregado que pasa el tamiz de 9.5 mm (3/8") y casi totalmente el de 4.75 mm (No. 4), y queda predominantemente retenido en el tamiz de 75 µm (No. 200).
- 2.1.2** *Equivalente de arena* – Una medida numérica de la contaminación por limo o arcilla en el agregado fino (o suelo), según lo determina este ensayo.
- 2.1.3** *Suelo* – Sedimentos u otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas producidas por desintegración física y alteración química de rocas, que pueden contener o no materia orgánica.

### 3 RESUMEN DEL MÉTODO

---

- 3.1** Un volumen normalizado de suelo o de agregado fino y una pequeña cantidad de solución floculante se colocan en un cilindro de plástico graduado y se agitan, para que las partículas de arena pierdan la cobertura de material arcilloso o similar. La muestra es posteriormente "irrigada", usando cierta cantidad de solución floculante, para forzar al material arcilloso o similar a

quedar en suspensión sobre la arena. Después de un período de sedimentación, se determinan las alturas del material arcilloso y fino floculado y de la arena en el cilindro. El equivalente de arena es la relación entre la altura de arena y la altura de arcilla, expresada en porcentaje.

#### 4 IMPORTANCIA Y USO

---

- 4.1 Este ensayo asigna un valor empírico a la cantidad relativa, finura y carácter del material arcilloso o similar, presente en una muestra de suelo o de agregado fino.
- 4.2 Se puede especificar un valor mínimo del equivalente de arena, con el fin de limitar la cantidad de finos nocivos en un agregado.
- 4.3 Este método de ensayo permite determinar rápidamente en el campo, variaciones de calidad de los agregados durante su producción o colocación.

#### 5 INTERFERENCIAS

---

- 5.1 La solución de trabajo se debe mantener a  $22 \pm 3^\circ \text{C}$  ( $72 \pm 5^\circ \text{C}$ ) durante la ejecución del ensayo.

*Nota 1: Si las condiciones de campo impiden mantener este rango de temperaturas, se deberán remitir frecuentemente muestras de referencia a un laboratorio donde se puedan garantizar dichas condiciones. También, es posible establecer curvas de corrección por temperatura para cada material que se deba ensayar. Sin embargo, no existe una curva de corrección universal para materiales diferentes, ni siquiera dentro de un rango reducido de valores de equivalente de arena. Las muestras que satisfagan el requerimiento de equivalente de arena mínimo a una temperatura de la solución de trabajo por debajo del rango recomendado, no requieren ser sometidas a ensayos de referencia.*

- 5.2 El ensayo se debe realizar en un sitio libre de vibraciones. Las vibraciones excesivas pueden causar la sedimentación del material fino, dando como resultado un valor de equivalente de arena mayor que el real.
- 5.3 Los cilindros plásticos no se deben exponer a la luz solar más de lo necesario.
- 5.4 En ocasiones, puede ser necesario remover cultivos de hongos del recipiente que contiene el cloruro de calcio y del interior de los tubos utilizados para el ensayo. Los hongos se pueden ver con facilidad como una sustancia viscosa en la solución, o como moho en el interior del recipiente.
  - 5.4.1 Para eliminar el cultivo, se prepara un solvente limpiador, diluyendo una solución de hipoclorito de sodio (blanqueador de cloro doméstico) en agua, en partes iguales.

- 5.4.2** Luego de descartar la solución contaminada, se llena el recipiente con la solución limpiadora, así: se permite que, aproximadamente, un litro de la solución limpiadora fluya a través del ensamble formado por el sifón y el tubo irrigador y, entonces, se coloca la pinza de presión en el extremo del tubo para cortar el flujo de solución y mantenerla dentro del tubo. Se llena de nuevo el recipiente y se deja el conjunto en reposo de un día para otro.
- 5.4.3** Luego de la saturación, se descarga la solución limpiadora permitiendo que fluya a través del ensamble sifón–tubo irrigador.
- 5.4.4** Se retiran del recipiente el sifón y el tubo y se enjuagan ambos con agua limpia. El irrigador y el sifón se pueden lavar fácilmente, conectándolos a una llave de agua mediante una manguera y dejando pasar el chorro de agua fresca a través de ellos, en sentido contrario al flujo normal.
- 5.5** En ocasiones, los orificios del tubo irrigador se obstruyen con partículas de arena. Si la obstrucción no se puede suprimir por otro método, se deberá usar un alfiler u otro elemento puntudo para forzarlas, teniendo cuidado para no ensanchar el tamaño de la abertura.
- 5.6** Se debe descartar toda solución de trabajo que cumpla dos semanas de elaborada.
- 5.7** Los recipientes de mezcla y almacenamiento de las soluciones se deben enjuagar totalmente antes de ser llenados con una nueva solución.
- 5.8** No se debe mezclar una solución nueva con una ya elaborada, independientemente de la edad de esta última.

## 6 EQUIPO

---

- 6.1** *Cilindro graduado de plástico transparente* – Con diámetro interior de  $31.75 \pm 0.381$  mm ( $1\frac{1}{4} \pm 0.015$ " ) y altura de 430.0 mm (17") aproximadamente, graduado en espacios de 2.54 mm (0.1"), desde el fondo hasta una altura de 381 mm (15"). La base del cilindro debe ser de plástico transparente de 102 x 102 x 12.7 mm ( $4 \times 4 \times \frac{1}{2}$ " ) bien asegurada al mismo, como se muestra en la Figura 133 - 1.
- 6.2** *Tapón macizo* – De caucho o goma que ajuste en el cilindro.

- 6.3** *Tubo irrigador* – De acero inoxidable, de cobre o de bronce, de 6.35 mm (¼") de diámetro exterior, y 0.89 mm (0.035") de espesor, con longitud de 510 mm (20"), con uno de sus extremos cerrado formando una arista. Las caras laterales del extremo cerrado tienen dos orificios de 1 mm de diámetro (calibre No.60), cerca a la arista que se forma. Figura 133 - 1 (detalle 6).
- 6.4** *Tubo flexible* – (de plástico o caucho) De 4.7 mm (3/16") de diámetro y de 1.20 m de largo, aproximadamente, con una pinza de presión que permita cortar el paso del líquido a través del mismo. Este tubo conecta el sifón con el tubo irrigador.
- 6.5** *Dos botellones* – De 3.785 litros (1 galón) de capacidad. Uno está destinado al almacenamiento de la solución stock. El otro, para la solución de trabajo, debe tener un tapón con dos orificios, uno para el tubo del sifón y el otro para entrada de aire. El frasco se debe colocar a  $915 \pm 25$  mm ( $36 \pm 1$ ") de altura sobre la mesa de trabajo.
- Nota 2: Se puede usar un recipiente de cristal o plástico de mayor tamaño, siempre que el nivel de la solución en su interior se mantenga entre 0.914 y 1.17 metros (36" y 46") por encima de la superficie de trabajo.*
- 6.6** *Dispositivo para tomar lecturas* – Un conjunto formado por un disco de asentamiento (pie), una barra metálica, un indicador y una sobrecarga cilíndrica. Este dispositivo está destinado a la toma de lecturas del nivel de arena y tendrá una masa total de 1 kg. La barra metálica tiene 457 mm (18") de longitud; en su extremo inferior lleva enroscado un disco metálico de cara inferior plana perpendicular al eje de la barra (Figura 133 - 2, montaje C). En el Anexo A se muestra un tipo de dispositivo alterno para tomar lecturas.
- Nota 3: La descripción de los elementos del montaje de ensayo mostrado en las Figuras 133 - 1 y 133 - 2, y los materiales que los constituyen, se presentan en la Tabla 133 - 1.*
- 6.7** *Recipiente para medir el espécimen de ensayo* – De 57 mm (2¼") de diámetro aproximado, con una capacidad de  $85 \pm 5$  ml.
- 6.8** *Embudo* – De boca ancha, de 100 mm (4") de diámetro en la base, para transferir las muestras al cilindro graduado.
- 6.9** *Reloj o cronómetro.*



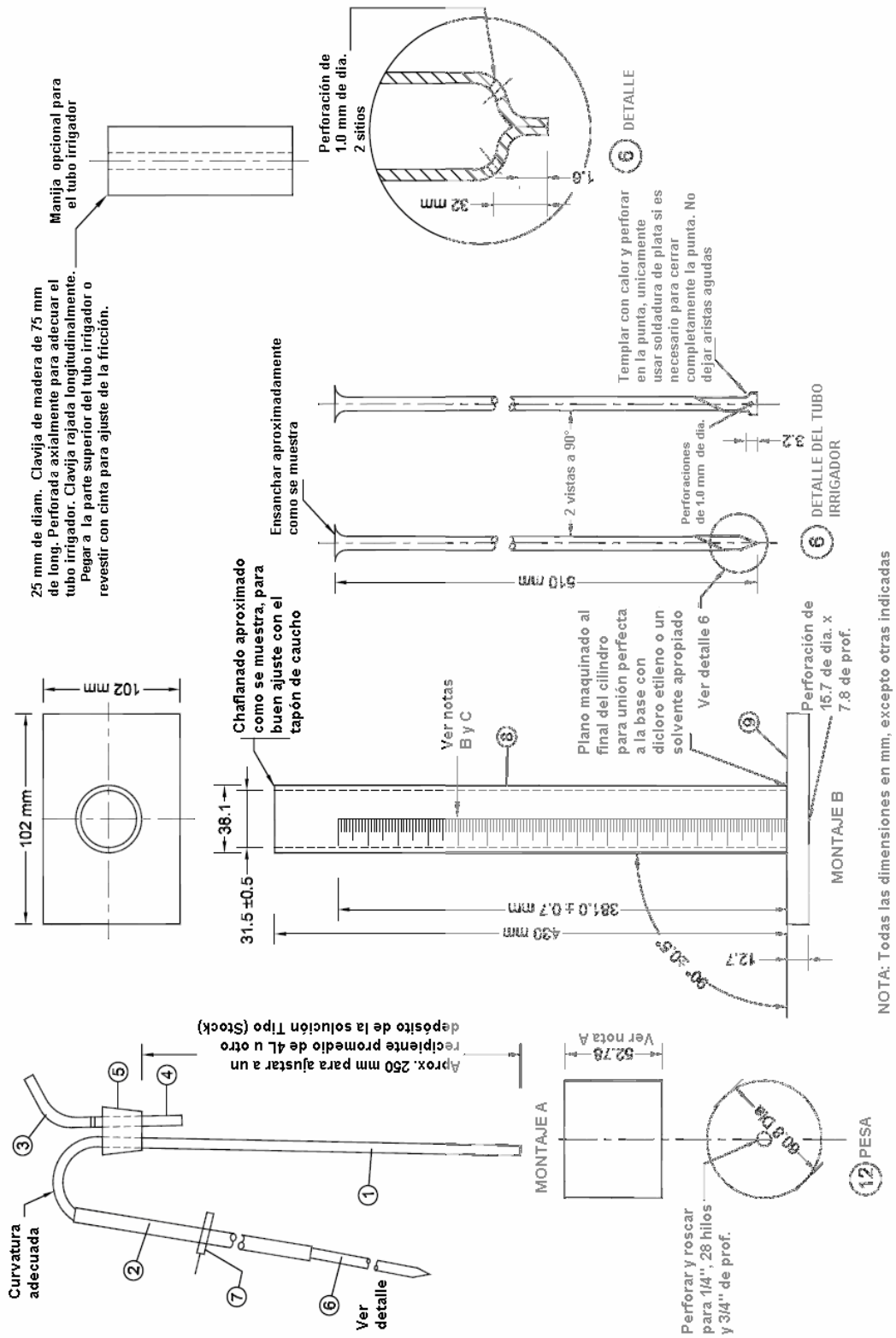
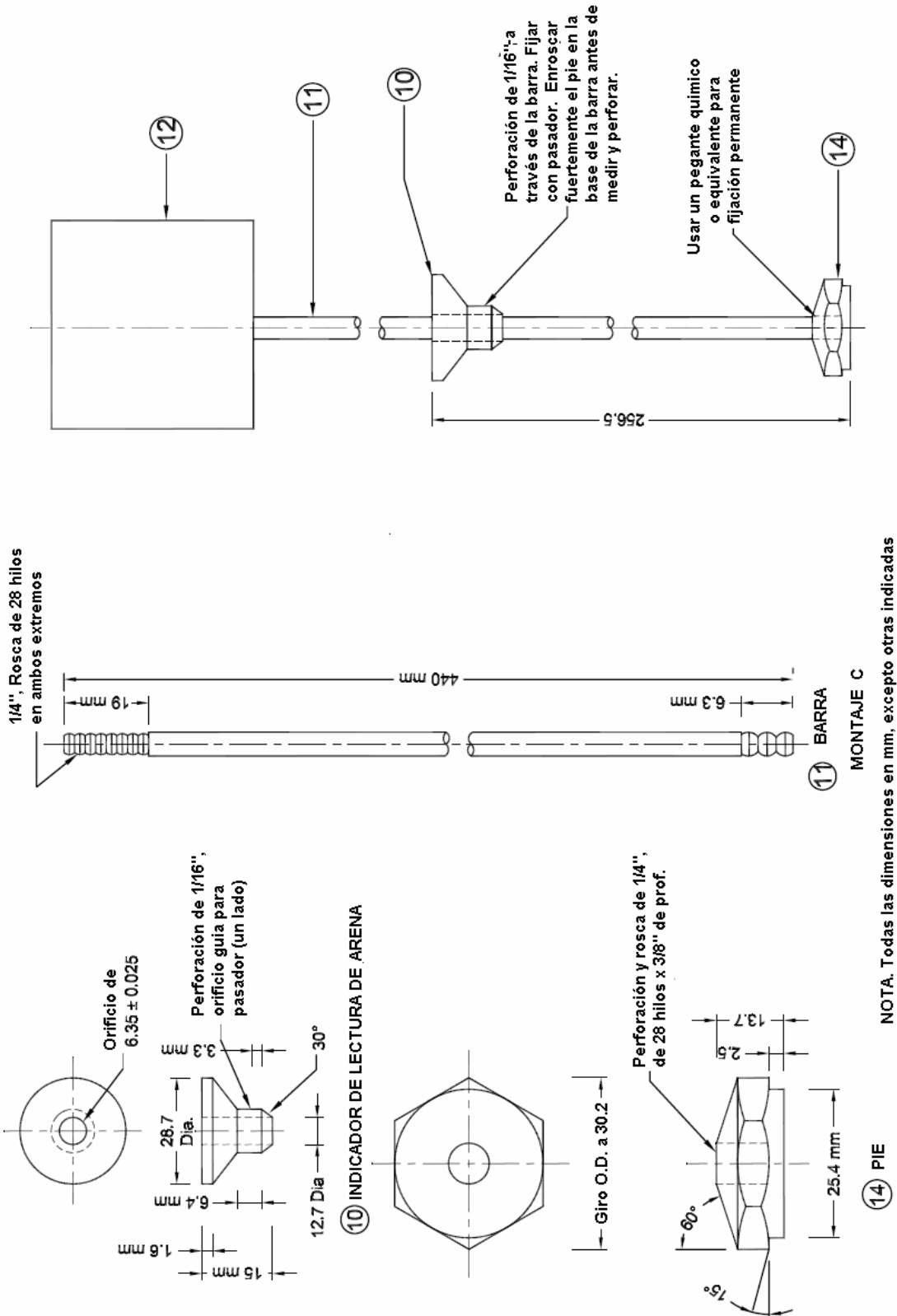


Figura 133 - 1. Equipo para el equivalente de arena



NOTA. Todas las dimensiones en mm, excepto otras indicadas

Figura 133 - 2. Equipo para el equivalente de arena (continuación)

**6.10** *Un agitador, que puede ser:*

- 6.10.1** *Mecánico*, diseñado para mantener el tubo graduado en posición horizontal mientras está siendo sometido a un movimiento de vaivén paralelo a su longitud, con una carrera de  $203.2 \pm 1.02$  mm ( $8 \pm 0.04$ " ) y que opere a  $175 \pm 2$  ciclos por minuto (Figura 133 - 3).

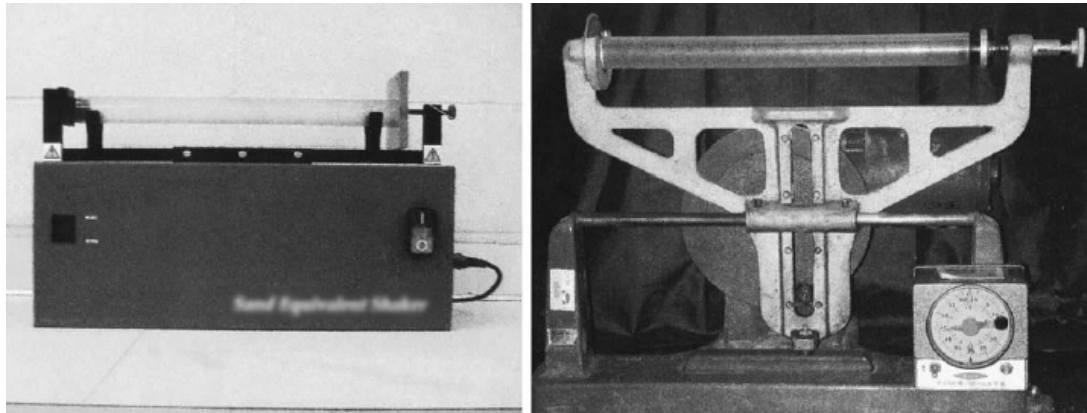


Figura 133 - 3. Agitadores de operación mecánica

- 6.10.2** *De operación manual* (opcional), que sea capaz de producir un movimiento oscilatorio a una rata de 100 ciclos completos en  $45 \pm 5$  s, con ayuda manual y un recorrido medio de  $127 \pm 5.08$  mm ( $5 \pm 0.2$ " ). El dispositivo debe estar diseñado de manera de sostener el cilindro graduado en posición horizontal mientras se somete a un movimiento de vaivén paralelo a su longitud (Figura 133 - 4). El agitador debe estar sujetado con seguridad a un soporte firme y nivelado.

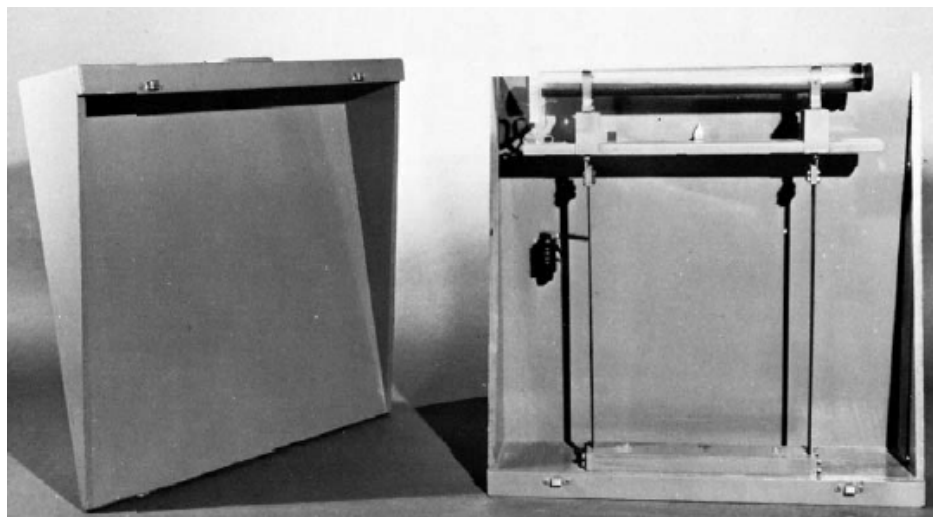


Figura 133 - 4. Agitador de operación manual

**6.11** *Un horno secador* – Controlado termostáticamente, capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5$  °C ( $230 \pm 9$ °F).

**6.12** *Papel de filtro* – Whatman No. 2 V o equivalente.

**6.13** *Elementos misceláneos* – Bandeja circular, toalla, palustre.

Tabla 133 - 1. Elementos del equipo de equivalente de arena (en referencia a las Figuras 133-1 y 133-2)

MONTAJE	PARTE NO.	DESCRIPCIÓN	MATERIAL
A		<b>Conjunto del sifón</b>	
	1	Tubo del sifón	Tubo de cobre (puede ser niquelado)
	2	Manguera del sifón	Tubo de caucho (puro o equivalente)
	3	Manguera de purga	Tubo de caucho (puro o equivalente)
	4	Tubo de purga	Tubo de cobre (puede ser niquelado)
	5	Tapón con dos agujeros	Caucho
	6	Tubo irrigador	
	7	Abrazadera	
B		<b>Conjunto de la probeta graduada</b>	
	8	Tubo	Acrílico transparente
	9	Base	Acrílico transparente
C		<b>Conjunto para lectura de arena</b>	
	10	Indicador de lectura de arena	Nylon 101 tipo 66 templado
	11	Base	Bronce (puede ser niquelado)
	12	Pesa	Acero (puede ser niquelado)
	13	Pasador	Metal resistente a la corrosión
	14	Pie	Bronce (puede ser niquelado)
	15	Tapón sólido	Caucho

## 7 SOLUCIONES

**7.1** *Solución stock* – Los materiales enumerados a continuación se pueden usar para preparar la solución stock. Si el uso de formaldehído es motivo de preocupación, se deben usar los materiales mencionados en los numerales 7.1.2 y 7.1.3. Una cuarta alternativa es la de no usar ningún biocida, siempre y cuando el tiempo de almacenamiento de la solución no sea el suficiente para promover el crecimiento de hongos.

**7.1.1** Solución stock con formaldehído:

**7.1.1.1** *Cloruro de calcio anhidro*, 454 g (1.0 lb) de grado técnico.

**7.1.1.2** *Glicerina USP*, 2050 g (1640 ml).

**7.1.1.3** *Formaldehído* (solución al 40 % por volumen), 47 g (45 ml).

**7.1.1.4** Se disuelven los 454 g de cloruro de calcio en 1.89 litros (½ galón) de agua destilada. Se deja enfriar y filtra con un papel plegado de filtración rápida. Se añaden los 2050 g de glicerina y los 47 g de formaldehído a la solución filtrada, se mezcla bien y se diluye a 3.78 litros (1 galón).

**7.1.2** Solución stock con glutaraldehído:

**7.1.2.1** *Cloruro de calcio dihidratado*, 577 g (1.27 lb) de grado A.C.S.

*Nota 4: El cloruro de calcio dihidratado de grado ACS se especifica para la solución tipo stock preparada con glutaraldehído, debido a que las pruebas indican que impurezas en el cloruro de calcio anhidro de grado técnico pueden reaccionar con el glutaraldehído, dando como resultado un precipitado desconocido.*

**7.1.2.2** *Glicerina USP*, 2050 g (1640 ml).

**7.1.2.3** *1.5–Pentanodiol (glutaraldehído)*, solución de 50% en agua, 59 g (53 ml).

**7.1.2.4** Se disuelven los 577 g (1.27 lb) de cloruro de calcio dihidratado en 1.89 litros (½ galón) de agua destilada. Se deja enfriar y se agregan los 2050 g de glicerina y los 59 g de glutaraldehído a la solución, se mezcla bien y se diluye a 3.78 litros (1 galón).

*Nota 5: 1.5-pentanodiol, conocido también como glutaraldehído, dialdehído glutárico y con nombre de fábrica UCARCIDE 250, se puede obtener como solución de glutaraldehído de 50%.*

**7.1.3** Solución stock con Kathon CG/ICP:

**7.1.3.1** *Cloruro de calcio dihidratado*, 577 g (1.27 lb) de grado ACS.

**7.1.3.2** *Glicerina USP*, 2050 g (1640 ml).

**7.1.3.3** *Kathon CBG/ICP*, 63 g (53 ml).

**7.1.3.4** Se disuelven los 577 g (1.27 lb) de cloruro de calcio dihidratado en 1.89 litros (½ galón) de agua destilada. Se deja enfriar y se añaden los 2050 g de glicerina y los 63 g de

Kathon CG/ICP a la solución, se mezcla bien y se diluye a 3.78 litros (1 galón).

- 7.2** *Solución de trabajo de cloruro de calcio* - La solución de trabajo de cloruro de calcio se prepara diluyendo en agua un volumen igual al recipiente para medir el espécimen de ensayo, ( $85 \pm 5$  ml), de la solución stock de cloruro de calcio, hasta completar 3.78 litros (1 galón). Se debe usar agua destilada o desmineralizada para la preparación normal de la solución de trabajo. Sin embargo, si se ha determinado que el agua potable local es de tal pureza que no afecta los resultados de la prueba, se permite su uso en lugar de agua destilada o desmineralizada, excepto en caso de disputa.

*Nota 6: Se debe establecer el efecto del agua potable del lugar sobre los resultados de los ensayos de equivalente de arena, comparando los resultados de tres pruebas empleando agua destilada con los de tres pruebas empleando agua potable. Las seis muestras usadas en la comparación se deben tomar de un mismo material secado al horno.*

## 8 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

---

- 8.1** El material para ensayo se debe obtener por muestreo, según lo indicado en la norma INV E-201.
- 8.2** Se mezcla la muestra completamente y se reduce al tamaño conveniente, de acuerdo con el procedimiento de la norma INV E-202.
- 8.3** Se obtienen, al menos, 1500 g de material que pase el tamiz de 4.75 mm (No. 4), de la siguiente manera:
- 8.3.1** Se separa la muestra sobre el tamiz 4.75 mm (No. 4) por medio de un movimiento lateral y vertical del tamiz, acompañado de una acción de vibración, de manera de mantener la muestra en continuo movimiento sobre la superficie del tamiz. El tamizado se continúa hasta que no más de 1% en peso del residuo pase el tamiz durante 1 minuto. La operación se puede realizar a mano o con una tamizadora mecánica.
  - 8.3.2** Se desmenuzan los terrones para que pasen el tamiz de 4.75 mm (No. 4). Para ello, se usa un mortero con una maja de caucho u otro medio que no cause rotura de partículas ni degradación del agregado.
  - 8.3.3** Se remueven los finos adheridos al agregado grueso, secando las partículas superficialmente y frotándolas luego entre las manos sobre una bandeja plana.

**8.3.4** Se juntan el material pasante del tamiz de 4.75 mm (No. 4), obtenido en el paso 8.3.2, con el obtenido en el paso 8.3.3, y se añaden a la porción ya separada de muestra.

**8.4** Las muestras para el ensayo se preparan con el material que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4), empleando alguno de los procedimientos descritos en los numerales 8.4.1 u 8.4.2.

*Nota 7: La experiencia muestra que a medida que disminuye la cantidad del material que está siendo reducida por división o cuarteo, también disminuye la exactitud en la provisión de porciones representativas. Por este motivo, es imperativo que la muestra sea dividida o cuarteada cuidadosamente.*

**8.4.1** *Procedimiento A:*

**8.4.1.1** Si se considera necesario, se humedece la muestra para evitar la segregación o la pérdida de finos durante las operaciones de cuarteo. La adición de agua debe ser muy cuidadosa, con el fin de que se mantenga la condición de flujo libre del material.

**8.4.1.2** Se sacan cuatro porciones de la muestra, usando el recipiente para medir el espécimen de ensayo. Cada vez que se saca una porción, se golpea el borde del fondo del recipiente sobre la mesa de trabajo o cualquier otra superficie dura, para producir la consolidación del material y permitir la colocación de la máxima cantidad de material en el recipiente.

**8.4.1.3** Se determina y anota la cantidad de material contenido en cada una de estas porciones, bien sea pesándolas o midiéndolas en un cilindro plástico seco.

**8.4.1.4** Se devuelve este material a la muestra y se procede a cuartearla, empleando procedimientos aplicables de la norma INV E-202, haciendo los ajustes necesarios para obtener el peso o volumen predeterminado. Cuando se obtenga este peso o volumen, dos operaciones sucesivas de cuarteo sin ajuste deberán proporcionar la cantidad adecuada de material para llenar el recipiente de medida y, por lo tanto, proporcionar un espécimen de ensayo.

**8.4.1.5** Se seca el espécimen en el horno a  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ \text{F}$ ) y se deja enfriar a temperatura ambiente, antes de proceder al ensayo.

*Nota 8: Los resultados de equivalente de arena sobre especímenes que no han sido secados al horno son, por lo general, menores que los de muestras idénticas que han sido secadas. Como recurso para ahorrar tiempo, se admite el ensayo de materiales húmedos, cuando el valor del equivalente de arena se va a emplear para determinar el cumplimiento de un valor mínimo exigido. Si el valor que se obtiene es menor que el especificado, será necesario repetir la prueba secando la muestra. Si el equivalente de arena de una muestra secada al horno es inferior al límite de la especificación, será necesario realizar dos pruebas adicionales con especímenes de la misma muestra. El equivalente de arena de una muestra se debe determinar de la manera que se establece en la sección de cálculos de esta norma.*

#### **8.4.2 Procedimiento B:**

**8.4.2.1** Manteniendo la condición de flujo libre, se humedece el material lo suficiente para prevenir segregación o pérdida de finos.

**8.4.2.2** Se cuartean de 1000 a 1500 g de material. Se mezclan totalmente con un palustre en una bandeja circular, llevando material hacia el centro a medida que el recipiente se rota horizontalmente. La mezcla se debe continuar durante un lapso no menor de 1 minuto, para asegurar la uniformidad. Se verifica la condición de humedad del material, apretando una pequeña porción de la muestra totalmente mezclada en la palma de la mano. Si se forma una masilla que puede ser manejada con cuidado, sin romperse, se ha obtenido el grado correcto de humedad. Si el material está demasiado seco, la masilla se desmorona y será necesario agregar agua y mezclar y probar de nuevo hasta que el material forme una masilla. Si el material escurre agua, está demasiado húmedo para ser ensayado y se deberá drenar y secar al aire, mezclándolo frecuentemente para asegurar su uniformidad. Este material demasiado húmedo formará una buena masilla al examinarlo inicialmente, de manera que el proceso de secado deberá continuar hasta que una prueba de apretón al material que se está secando produce una masilla que es más frágil y delicada de manipular que la original. Si el contenido de agua del material recién recibido se encuentra en el estado que se acaba de describir, la muestra se puede ensayar inmediatamente. Si la muestra fue alterada para lograr dicho estado, se deberá poner en la bandeja, cubierta con una tapa o una toalla húmeda que no toque el material, y se la deja reposar por 15 minutos.



- 8.4.2.3** Luego de este breve período de curado, se remezcla el material sin añadir agua. Cuando el material se encuentre perfectamente mezclado, se forma un cono con él, con ayuda de un palustre.
- 8.4.2.4** Se toma en una mano un recipiente para medir el espécimen y se lo empuja directamente a través de la base del cono de material, mientras la otra mano se apoya en el extremo opuesto del cono de material.
- 8.4.2.5** A medida que el recipiente recorre la pila de material y emerge de ella, se debe mantener una presión suficiente para asegurar que el recipiente queda lleno hasta rebosar. El exceso de material se deberá retirar, pasando un lado del palustre por el borde del recipiente.
- 8.4.2.6** Para obtener especímenes adicionales de ensayo, se repiten los pasos 8.4.2.3 a 8.4.2.5.

## 9 PREPARACIÓN DEL EQUIPO

---

- 9.1** Se ajusta el montaje del sifón a un botellón con 3.78 litros (1 galón) de la solución de trabajo de cloruro de calcio y se coloca el botellón en un estante situado  $90 \pm 5$  cm ( $36 \pm 2$ " ) por encima de la superficie de trabajo (Figura 133 - 5).

*Nota 9: En lugar de un botellón se puede usar un tanque plástico o de vidrio de mayor capacidad, siempre y cuando el nivel de la solución de trabajo se mantenga entre 90 y 120 cm (36 a 48") por encima de la superficie de trabajo.*

- 9.2** Se empieza a sifonar forzando aire dentro de la boca del frasco de solución a través del tubo irrigador acodado, mientras la abrazadera que corta el paso del líquido se encuentra abierta. El aparato se encuentra ahora listo para ser usado.



Figura 133 - 5. Cilindro graduado, tubo irrigador, dispositivos para tomar lecturas y sifón

## 10 PROCEDIMIENTO

---

- 10.1** Se vierte solución de trabajo de cloruro de calcio en el cilindro graduado, con la ayuda del sifón, hasta una altura de  $101.6 \pm 2.54$  mm ( $4 \pm 0.1$ ").
- 10.2** Con ayuda del embudo, se vierte un espécimen de ensayo en el cilindro graduado (Figura 133 - 6).



Figura 133 - 6. Transferencia del espécimen al cilindro graduado

**10.3** Se golpea varias veces el fondo del cilindro con la palma de la mano para liberar las burbujas de aire y remojar la muestra completamente.

**10.4** Se deja el cilindro en reposo durante  $10 \pm 1$  minutos.

**10.5** Al finalizar los 10 minutos (periodo de humedecimiento), se tapa el cilindro con el tapón y se afloja el material del fondo invirtiendo parcialmente el cilindro y agitándolo simultáneamente.

**10.6** Después de aflojar el material del fondo, se agita el cilindro con cualquiera de los tres métodos siguientes:

**10.6.1** *Método del agitador mecánico* – Se coloca el cilindro tapado en el agitador mecánico y se pone éste en funcionamiento durante  $45 \pm 1$  s.

**10.6.2** *Método del agitador manual:*

**10.6.2.1** Se asegura el cilindro tapado con las tres pinzas de resorte del soporte del agitador manual y se pone el contador de vueltas en cero.

*Nota 10: Para prevenir el escape de material, se debe verificar que el tapón esté firmemente colocado en el cilindro, antes de colocarlo en el agitador manual.*

**10.6.2.2** El operario se debe parar directamente enfrente del agitador y debe forzar el indicador hasta la marca límite de carrera pintada en el respaldo, aplicando un empujón horizontal brusco a la parte superior de la biela de acero resortada del lado derecho. Luego se retira la mano de la biela y se permite que la acción del resorte mueva el soporte y el cilindro en la dirección opuesta sin ayuda y sin impedimento alguno.

**10.6.2.3** Se aplica suficiente fuerza a la biela de acero resortada desde el lado derecho durante la porción de empuje de cada ciclo, con el fin de llevar el indicador hasta la marca límite de recorrido, empujando la biela con la punta de los dedos para mantener un movimiento de oscilación suave (Figura 133 - 7). El centro de la marca del límite de carrera, está colocado para proveer la longitud adecuada de recorrido y su ancho proporciona los límites máximos admisibles de variación. La acción correcta de agitación se logra solamente cuando el extremo del indicador invierte su dirección dentro de los límites marcados. Si se usa solamente el movimiento del

antebrazo y la muñeca para mover el agitador, es posible mantener una agitación correcta con mayor facilidad.

**10.6.2.4** Se continúa la acción de agitación hasta completar 100 ciclos.

**10.6.3** *Método Manual:*

**10.6.3.1** Se sostiene el cilindro en una posición horizontal, como se ilustra en la Figura 133 - 8, y se agita vigorosamente con un movimiento lineal horizontal de vaivén.

**10.6.3.2** El cilindro se agita 90 ciclos en aproximadamente 30 segundos, empleando un recorrido de  $229 \pm 25$  mm ( $9 \pm 1$ " ). Un ciclo se define como un movimiento completo de vaivén. Para agitar el cilindro a esta velocidad, será necesario que el operario mueva únicamente los antebrazos, mientras mantiene el cuerpo y los hombros en posición de descanso.

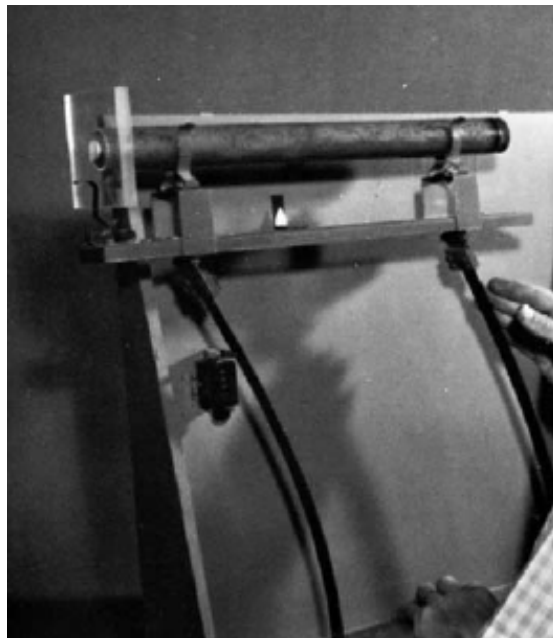


Figura 133 - 7. Operación del agitador manual



Figura 133 - 8. Método manual de agitación

**10.7** Inmediatamente después de la operación de agitación, se coloca el cilindro en posición vertical sobre la mesa de trabajo y se remueve el tapón.

**10.8** *Procedimiento de irrigación:*

**10.8.1** Durante el procedimiento de irrigación se debe mantener el cilindro en posición vertical y su base en contacto con la superficie de trabajo. Se inserta el tubo irrigador dentro del cilindro, se afloja la pinza de presión de la manguera y se lava el material de las paredes del cilindro a medida que se baja el irrigador, el cual debe llegar, a través de la mezcla de suelo y solución de trabajo hasta el fondo del cilindro, aplicando suavemente una acción punzante y de giro mientras fluye solución de trabajo por la boca del irrigador. Esto impulsa hacia arriba el material fino que esté en el fondo y lo pone en suspensión sobre las partículas gruesas de arena (Figura 133 - 9).

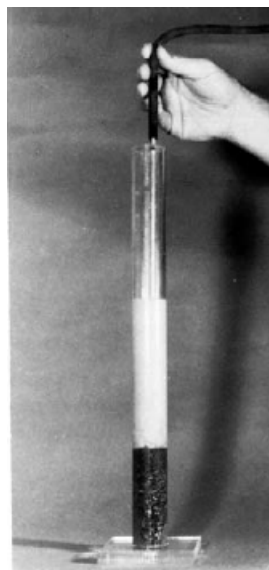


Figura 133 - 9. Procedimiento de irrigación

**10.8.2** Se continúa aplicando la acción punzante y de giro mientras se lavan los finos, hasta que el cilindro esté lleno hasta la marca de 381 mm (15"); entonces, se levanta el tubo irrigador con suavidad sin que deje de fluir la solución, de tal forma que el nivel del líquido se mantenga cerca a dicha altura, mientras se extrae el tubo irrigador. El flujo se debe regular justamente antes de que el tubo irrigador sea completamente retirado, con el fin de ajustar el nivel final a la lectura de 381 mm (15").

**10.9** Se deja en reposo el cilindro con su contenido durante 20 min  $\pm$  15 s. El tiempo se comienza a medir inmediatamente después de retirar el tubo irrigador.

**10.10** *Determinación de la lectura de arcilla:*

**10.10.1** Al finalizar los 20 minutos del periodo de sedimentación, se lee y anota el nivel de la parte superior de la suspensión arcillosa. Este valor se denomina "lectura de arcilla". Si no se ha formado una línea clara de demarcación al finalizar el periodo especificado de 20 minutos, se permite que la muestra permanezca sin ser perturbada hasta que se pueda obtener una lectura de arcilla; entonces, se lee y se anota inmediatamente la altura de la suspensión arcillosa y el tiempo total de sedimentación. Si éste último excede de 30 minutos, se debe realizar de nuevo el ensayo, usando tres especímenes individuales del mismo material. Solamente se debe anotar la lectura de la columna arcillosa del espécimen que requiera el menor tiempo de sedimentación.

**10.11** *Determinación de la lectura de arena:*

**10.11.1** Después de tomar la lectura de arcilla, se introduce dentro del cilindro el dispositivo para tomar lecturas, y se baja suavemente hasta que llegue sobre la arena. Se debe impedir que el dispositivo golpee la boca del cilindro, mientras se baja.

**10.11.2** Cuando el disco de asentamiento (pie) descansa sobre la arena, se inclina el dispositivo hacia las graduaciones del cilindro, hasta que el indicador del dispositivo toca la pared del cilindro. Se restan 254 mm (10") al nivel marcado por el borde superior del indicador y se registra este valor como la "lectura de arena" (Figura 133 - 10).

*Nota 11: En el Anexo A se muestra un ensamble alternativo para medir la lectura de arena.*

- 10.11.3** Mientras se esté tomando la lectura de la arena, se debe tener cuidado de no presionar el dispositivo hacia abajo, pues ello conduce a una lectura errónea.
- 10.12** Cuando el nivel de las lecturas de arcilla o arena esté entre líneas de graduación de 0.1" (2.5 mm), se anotará la lectura correspondiente a la graduación inmediatamente superior. Por ejemplo, si la "lectura de arcilla" es 7.95 se anotará como 8.0. Una "lectura de arena" de 3.22, se anotará como 3.3.
- 10.13** Después de tomar las lecturas, se saca del cilindro el dispositivo de lectura, se tapa aquel con su tapón de caucho y se sacude hacia arriba y hacia abajo en posición invertida hasta que el material sedimentado se deshaga, y se vacía inmediatamente. El cilindro se deberá enjuagar con agua, al menos dos veces.

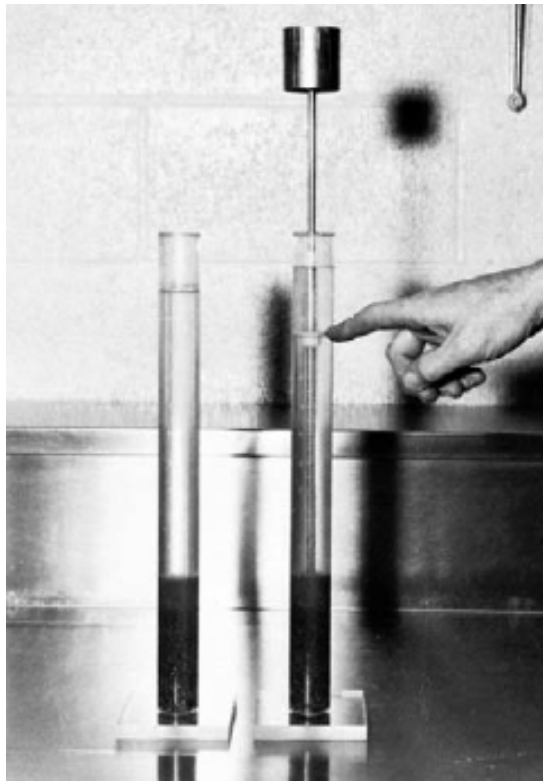


Figura 133 - 10. Lectura de arena

## 11 CÁLCULOS

---

- 11.1** El equivalente de arena (EA) se calculará con aproximación a la décima (0.1 %), así:

$$EA = \frac{\text{Lectura de arena}}{\text{Lectura de arcilla}} \times 100 \quad [133.1]$$

- 11.2** Si el valor obtenido en el cálculo no es un número entero, se debe redondear al número entero superior. Por ejemplo, si la lectura anotada de arcilla fue 8.0 y la lectura anotada de arena fue 3.3, el equivalente de arena será  $(3.3/8.0) \times 100 = 41.2$ . Como este valor no es entero, se redondeará a 42 y así será registrado en el informe.
- 11.3** Si se desea obtener el promedio de una serie de valores de equivalente de arena, se promedian los valores enteros determinados como se describió en el numeral 11.2 y si dicho promedio no es un número entero, se redondeará hacia el entero superior, como se muestra en el ejemplo siguiente:
- 11.3.1** Supóngase que tres determinaciones del equivalente de arena dieron los valores 41.2, 43.8 y 40.9.
- 11.3.2** Al redondear cada uno de ellos al valor entero superior, se convierten en 42, 44 y 41.
- 11.3.3** El promedio de estos valores será:  $(44 + 42 + 41) = 42.3$
- 11.3.4** Como el valor obtenido no es entero, el equivalente de arena promedio de las tres muestras será, redondeado al entero superior, 43.

## 12 PRECISIÓN Y SESGO

---

- 12.1** *Precisión* – Los estimativos de precisión que se presentan a continuación, se obtuvieron en el laboratorio de materiales de referencia de la AASHTO. No hay diferencias significativas entre los resultados de los ensayos realizados con los dos procedimientos descritos en esta norma (Ver Sección 8). Los datos se basan en el análisis de ocho ensayos hechos por duplicado por un grupo de 50 a 80 laboratorios, en los cuales el equivalente de arena de las muestras osciló entre 60 y 90.
- 12.1.1** *Precisión de un solo operador* – Se halló que la desviación estándar (1s) de un solo operario era de 1.5 para valores de equivalente de arena mayores de 80, y de 2.9 para valores menores. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos bien ejecutados por el mismo operario



sobre muestras del mismo material, no deberían variar más de 4.2 y 8.2, respectivamente (d2s).

**12.1.2** *Precisión entre varios laboratorios* – Se halló que la desviación estándar (1s) entre laboratorios era de 4.4 para valores de equivalente de arena mayores de 80, y de 8.0 para valores menores. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos bien ejecutados por diferentes laboratorios sobre muestras del mismo material, no deberían variar más de 12.5 y 22.6, respectivamente (d2s).

**12.1.3** Hay otros datos disponibles sobre precisión, provenientes de un estudio adelantado por una entidad gubernamental norteamericana, el cual involucró pares de muestras sometidas a ensayo en 20 laboratorios y en tres ocasiones diferentes, cuyo contenido de finos era mayor que el de las referidas en el numeral 12.1, y cuyo equivalente de arena osciló entre 30 y 50. La desviación estándar de dichos ensayos entre laboratorios fue 3.2 (1s). Por lo tanto, en los laboratorios de esa agencia, los resultados de 2 ensayos bien hechos sobre muestras del mismo material no deberían diferir en más de 9.1 (d2s).

**12.2** *Sesgo* – El procedimiento descrito en esta norma no tiene sesgo, por cuanto el equivalente de arena sólo se define en términos del método de ensayo.

## 13 NORMAS DE REFERENCIA

---

ASTM D 2419 – 09

### ANEXO A (Aplicación obligatoria)

#### PROCEDIMIENTO DE LECTURA CUANDO SE EMPLEA EL DISPOSITIVO PARA TOMAR LECTURAS MODELO 1969

---

**A.1** Si se va usar dispositivo modelo 1969 (Figura 133A - 1) para tomar la “lectura de arena”, se procede como se indica a continuación.

**A.1.1** Luego de que se ha tomado la “lectura de arcilla”, se introduce el dispositivo con suavidad hasta que su disco de asentamiento (pie) quede apoyado sobre la arena. Mientras el dispositivo está

descendiendo, se pone uno de los tornillos de su pie en contacto con el cilindro, cerca de las graduaciones, de manera que se pueda ver durante todo el tiempo en que descienda el dispositivo. Cuando el pie descansa sobre la arena, se lee el nivel de la ranura del tornillo y se anota como "lectura de arena".

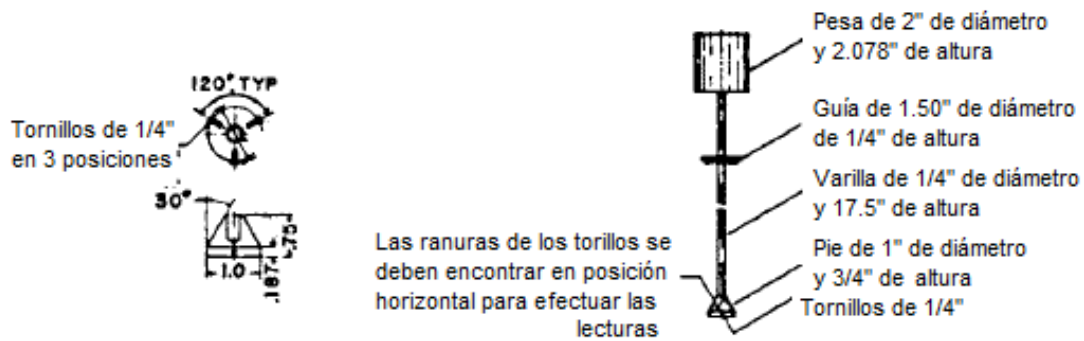


Figura 133A - 1. Dispositivo modelo 1969 para tomar lecturas de arena

# MÉTODO PARA DETERMINAR LA HUMEDAD DE LOS SUELOS USANDO EL HORNO MICROONDAS

INV E – 135 – 13

## 1 OBJETO

---

- 1.1** Esta norma de ensayo describe procedimientos para determinar el contenido de agua (humedad) de suelos, secándolos en incrementos en un horno microondas.
- 1.2** Este método de ensayo se puede usar en reemplazo del descrito en la norma INV E–122, cuando se deseen obtener resultados con mayor rapidez, con el fin de acelerar la realización de otras fases del control y siempre que se consideren aceptables unos resultados algo menos precisos.
- 1.3** Cuando haya dudas sobre la precisión de los dos métodos, se debe preferir el método descrito en la norma INV E–122.
- 1.4** Este método de ensayo es aplicable a la mayor parte de los suelos. Para algunos, tales como aquellos con alto contenido de haloisita, mica, montmorilonita, yeso u otros materiales hidratados, suelos altamente orgánicos, o suelos en los cuales en agua de los poros contiene sólidos disueltos (tales como sal en depósitos marinos), este método de ensayo puede dar resultados del contenido de agua carentes de confiabilidad.
- 1.5** Esta norma reemplaza la norma INV E–135–07.

## 2 DEFINICIONES

---

- 2.1** Las definiciones aplicables de manera específica a esta norma son las siguientes:
- 2.1.1** *Calentamiento por microondas* – Proceso por medio del cual se induce calor en un material debido a la interacción entre las moléculas dipolares del material y un campo eléctrico alterno de alta frecuencia. Las microondas son ondas electromagnéticas cuya longitud de onda varía de 1 mm a 1 m.

- 2.1.2** *Contenido de agua* – Relación, expresada en porcentaje, entre la masa de agua libre o de poros existente en una masa de suelo y la masa de las partículas sólidas de éste.

### 3 RESUMEN DEL MÉTODO

---

- 3.1** Se coloca un espécimen de suelo húmedo dentro de un recipiente apropiado y se determina su masa. Se coloca luego, en un horno microondas, donde se somete a un intervalo de secado, se retira del horno y se determina de nuevo su masa. El procedimiento se repite hasta que la masa sea aproximadamente constante.
- 3.2** La diferencia entre la masa del espécimen húmedo y la del espécimen seco es considerada como la de agua contenida originalmente en el espécimen. El contenido de agua se determina dividiendo la masa de agua por la masa del espécimen seco y multiplicando por 100. Para un determinado suelo y tamaño de muestra, el tiempo para alcanzar una masa constante se puede anotar y usar como un tiempo de secado para posteriores ensayos, empleando un espécimen del mismo suelo y del mismo tamaño.

### 4 IMPORTANCIA Y USO

---

- 4.1** El contenido de agua de un suelo se usa para toda práctica de ingeniería geotécnica, ya sea en el laboratorio o en el terreno. El empleo del método descrito en la norma INV E-122 para determinar la humedad puede ser muy lento y hay ocasiones en las cuales es necesario el uso de un método más expedito. El empleo de un horno microondas es uno de estos métodos.
- 4.2** La principal objeción al empleo del horno microondas para determinar el contenido de agua, ha sido la posibilidad de sobrecalentar el suelo produciendo, por lo tanto, un contenido de agua más alto que el que se determinaría con el método INV E-122. A pesar de que la posibilidad de sobrecalentamiento no se elimina, el procedimiento de secado por incrementos descrito en esta norma minimizará sus efectos. Algunos hornos microondas poseen sistemas de ajuste para trabajar con una potencia inferior a la máxima, los cuales se pueden usar, también, para reducir el sobrecalentamiento.

- 4.3** El comportamiento de un suelo, cuando es sometido a la energía de un microondas, depende de su composición mineralógica y, por lo tanto, ningún procedimiento es aplicable para todo tipo de suelos. Por lo tanto, el procedimiento recomendado en esta norma se debe entender como una guía general cuando se use el horno microondas.
- 4.4** Este método es más apropiado para trabajar con material de tamaño menor a 4.75 mm. Se pueden ensayar partículas de mayor tamaño; sin embargo, se debe tener cuidado, por cuanto se aumenta la posibilidad de destrucción de las partículas.
- 4.5** El uso de éste método puede resultar inapropiado cuando se requieren resultados de alta precisión o cuando el ensayo que vaya a utilizar estos datos sea extremadamente sensible a las variaciones de humedad.
- 4.6** Debido a las altas temperaturas localizadas a las cuales se expone el espécimen en un horno microondas, se pueden alterar las características físicas del suelo. Puede ocurrir degradación de partículas individuales, junto con vaporización y transformaciones químicas. Por lo tanto, se recomienda que las muestras usadas en este método de ensayo no sean utilizadas para otros ensayos después de secadas.

## 5 EQUIPO

---

- 5.1** *Horno microondas* – Preferiblemente con una cámara de ventilación. El tamaño y la capacidad energética del horno dependen del uso al cual va a ser sometido. Hornos con control para variar la potencia y con rangos de potencia de entrada de alrededor de 700 W, han demostrado ser adecuados para este uso. Los controles de variación de potencia son importantes y reducen el potencial de sobrecalentamiento del espécimen de prueba.

*Nota 1: Se han desarrollado hornos microondas equipados con escalas incorporadas y controles para el uso en el secado de suelos. Su uso es compatible con este método de ensayo.*

- 5.2** *Balanza* – Balanza con una capacidad de 2000 g o mayor, con sensibilidad de lectura de 0.1 g.
- 5.3** *Recipientes para espécimen* – Recipientes adecuados, hechos de materiales no metálicos ni absorbentes, resistentes al choque térmico y no sujetos a cambios de masa o de forma al someterlos a calentamiento, enfriamiento y limpieza repetidos. Recipientes de porcelana para evaporación y recipientes de vidrio

de borosilicato resultan satisfactorios. Otros recipientes, como vasos o platos de papel, también han sido usados con éxito, pero pueden necesitar secado previo antes de ser usados.

- 5.4** *Utensilios para manipular los recipientes* – Un guante o sujetador, apropiado para sacar recipientes calientes del horno.
- 5.5** *Desecador* – Una cámara desecadora o recipiente hondo, de tamaño apropiado que contenga gel de sílice, fosfato de calcio anhidro o equivalente. Es preferible usar un desecante que cambie de color para indicar el momento en el cual necesita reposición.
- 5.6** *Disipador térmico* – Un material o líquido colocado en el microondas para absorber energía después de que la humedad ha sido sacada del espécimen de ensayo. El disipador térmico reduce la posibilidad de sobrecalentar el espécimen y dañar el horno. Se han usado con éxito vasos de precipitados llenos de agua y materiales que tienen un punto de ebullición mayor que el del agua, tales como aceites no inflamables. También, se han empleado ladrillos humedecidos.
- 5.7** *Implementos para agitación* – Espátulas, cuchillos y varillas de vidrio para cortar y revolver el espécimen antes y durante la prueba. Varillas cortas de vidrio han resultado útiles para agitar, y se pueden dejar en el recipiente durante la prueba, reduciendo la posibilidad de pérdida de suelo debido a su adhesión al dispositivo para agitar.

## 6 PELIGROS

---

- 6.1** Los recipientes calientes se deben manejar con sujetadores adecuados. Algunos tipos de suelos pueden retener un calor considerable y podrían dar lugar a serias quemaduras como resultado de un manejo inapropiado.
- 6.2** Se recomienda una apropiada protección para los ojos, debido a la posibilidad de fragmentación de partículas durante el calentamiento, la mezcla, o las determinaciones de masa.
- 6.3** Se deben observar todas las precauciones de seguridad indicadas por el fabricante del microondas. Los empaques de sellado y el dispositivo de cierre de la puerta del horno se deben mantener limpios y en buen estado.

*Nota 2: El empleo de un horno microondas para secar suelos puede ser considerado abusivo por algunos fabricantes y constituir causa para la anulación de la garantía. El secado de suelos que contengan materiales metálicos puede causar daño al horno. Los suelos altamente orgánicos o con contenido de aceites y carbón se pueden encender y quemar durante el secado en el horno microondas. La operación continuada del horno después de que el suelo haya alcanzado una masa constante, también puede ser causa de daños o de falla prematura del horno microondas.*

*Nota 3: Cuando se comenzaron a utilizar los hornos microondas, se informó que ellos afectaban los marcapasos cardíacos, sobre todo debido a las frecuencias de operación de los dos dispositivos. Desde esa época, los marcapasos fueron rediseñados y los microondas ya no se miran como un riesgo para la salud. No obstante, es recomendable poner advertencias cuando un microondas se encuentre en funcionamiento.*

- 6.4** Como algunos suelos se pueden encender durante el secado en el horno microondas, se debe disponer de medios idóneos para apagar las llamas y prevenir lesiones del operario y daños en el horno durante la ejecución del ensayo. Los humos emitidos por suelos o desechos contaminados pueden ser tóxicos y, por lo tanto, el horno debe poseer un adecuado sistema de ventilación.
- 6.5** Es conveniente tapar los recipientes con los especímenes, para evitar lesiones al operario y daños al horno a causa de fragmentación por explosiones de vapor o agregados quebradizos. Toallas de papel grueso han dado resultado satisfactorio. Esto también previene que la muestra se disperse dentro del horno durante el ciclo de secado.
- 6.6** No se deben usar recipientes metálicos dentro de un horno microondas, por cuanto se pueden producir chispas y daños en el aparato.
- 6.7** Se deben seguir al pie de la letra las instrucciones del fabricante al instalar y operar el horno.
- 6.8** Colocar directamente el espécimen de prueba sobre la bandeja de vidrio del horno microondas se desapueba enfáticamente. El calentamiento concentrado del espécimen puede ocasionar la fragmentación de la bandeja de vidrio, pudiendo causar lesiones al operario.

## **7 MUESTRAS**

---

- 7.1** Antes del ensayo, los materiales se deben mantener almacenados en recipientes no corrosibles, cerrados herméticamente, a una temperatura entre 3 y 30 ° C, en un área alejada de los rayos solares.

- 7.2** La determinación del contenido de agua se debe hacer tan pronto como sea posible luego del muestreo, especialmente si los recipientes utilizados para almacenar las muestras son bolsas sin sellar o materiales potencialmente corrosibles (tales como tubos de pared delgada, tarros de pintura o recipientes semejantes).

## 8 ESPÉCIMEN DE ENSAYO

- 8.1** Para determinaciones del contenido de agua como parte de la ejecución de otro ensayo, se deben emplear el proceso de selección del espécimen, la cantidad de material por muestrear y las técnicas especificadas en la norma que rige ese otro ensayo. Si allí no se indica una masa mínima de muestra, aplicarán los valores dados en la Tabla 135 - 1.
- 8.2** La manera de seleccionar un espécimen y su masa requerida para el ensayo dependen, básicamente, del propósito del ensayo, del tipo de material que se va a ensayar y del tipo de muestra (espécimen de otra prueba, bolsa, tubo partido y otros semejantes). En otros casos, sin embargo, se debe seleccionar una porción representativa del total de la muestra. Si se encuentra una capa delgada de suelo o más de un tipo de suelo, se selecciona una porción promedio y/o porciones individuales, anotándose en el informe de resultados cuál fue la porción(es) ensayada(s).
- 8.2.1** Para muestras grandes, se selecciona el espécimen de prueba del material después de que éste haya sido mezclado completamente. La masa de material húmedo seleccionado debe estar de acuerdo con la Tabla 135 - 1.

Tabla 135 - 1. Masa del espécimen de prueba

TAMIZ EN EL CUAL EL PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO NO ES MAYOR DEL 10% DE LA MUESTRA	MASA RECOMENDADA g
19 mm (3/4")	500 – 1000
4.75 mm (No. 4)	300 – 500
2.0 mm (No. 10)	100 – 200



**8.2.2** Para muestras pequeñas, se selecciona una porción representativa, de acuerdo con el siguiente procedimiento:

**8.2.2.1** Para suelos no cohesivos, se mezcla totalmente el material y se selecciona en seguida un espécimen de prueba con una masa de material húmedo de acuerdo con la Tabla 135 - 1.

**8.2.2.2** Para suelos cohesivos, se retiran aproximadamente 3 mm de material de la periferia expuesta de la muestra y se parte el resto del espécimen por la mitad (para ver si el material está estratificado), antes de seleccionar el espécimen para el ensayo. Si el suelo es estratificado, véase el numeral 8.2.

**8.3** La masa del material húmedo seleccionado debe estar de acuerdo con la Tabla 135 - 1 si se notan partículas de grano grueso. Partir o cortar las muestras cohesivas en fragmentos de aproximadamente 6 mm ( $\frac{1}{4}$ " ) acelerará el secado y evitará la formación de costras o el sobrecalentamiento de la superficie mientras se seca el interior.

**8.4** El uso de un espécimen de prueba de masa menor que la indicada en la tabla 1 requiere discreción, aunque puede ser adecuado para el propósito de la prueba. Cuando se utilice una masa más pequeña, se debe dejar constancia de ello en el informe.

*Nota 4: En muchos casos, al trabajar con una muestra pequeña que contenga una partícula relativamente grande de grano grueso, es apropiado no incluir esta partícula en el espécimen de prueba. Cuando esto suceda, se hará la notación pertinente en el informe de resultados.*

**8.5** Cuando el resultado de la determinación de humedad usando este método vaya a ser comparado con el resultado de otro método, tal como el INV E-122, se debe obtener una segunda muestra durante la selección. Se debe tener la precaución necesaria para asegurar que la segunda muestra tenga la misma humedad que la primera. La muestra comparativa debe ser procesada tan pronto como sea posible, para evitar pérdida de humedad.

## **9 ACONDICIONAMIENTO DEL ESPÉCIMEN DE ENSAYO**

---

**9.1** Los especímenes se deben preparar y procesar tan pronto como sea posible, para minimizar pérdidas de humedad no registradas, lo que se traduciría en determinaciones erróneas de contenido de agua.

- 9.2** El suelo se debe partir o cortar en terrones pequeños para ayudar a la obtención de un secado más uniforme del espécimen.
- 9.3** Si los especímenes no se van ensayar inmediatamente, se deben guardar en recipientes sellados para prevenir pérdidas de humedad.

## 10 PROCEDIMIENTO

---

- 10.1** Se determina la masa de un recipiente o plato limpio y seco y se anota ( $M_c$ ).
- 10.2** Se coloca el espécimen de suelo en el recipiente e inmediatamente se determina y anota la masa del conjunto ( $M_1$ ).
- 10.3** Se coloca el recipiente con el suelo en el horno microondas con el disipador térmico y se prende el horno por tres minutos. Si la experiencia con un tipo particular de suelo y un tamaño de espécimen indica que se puede usar un tiempo inicial de secado más corto o más largo sin sobrecalentamiento, se podrán ajustar el tiempo inicial de secado y los subsiguientes.

*Nota 5: Los tres minutos fijados inicialmente son para un mínimo de masa de 100 g como se muestra en la Tabla 135 - 1. No se recomienda usar muestras más pequeñas en el horno microondas, puesto que el secado puede ser demasiado rápido para un control apropiado. Cuando se necesitan muestras muy grandes para representar suelos conteniendo partículas grandes de grava, la muestra se debe fraccionar y secar las fracciones por separado, hasta obtener la masa seca de la muestra total.*

*Nota 6: La mayoría de los hornos permiten la variación de la potencia. Para la mayoría de los suelos que se van a ensayar, el ajuste en "alto" debe ser satisfactorio; sin embargo, para algunos suelos este ajuste puede resultar demasiado severo. El ajuste apropiado sólo se puede determinar con el uso y la experiencia con un horno en particular, para varios tipos de suelos y tamaños de muestra. El rendimiento energético del horno microondas puede decrecer con la edad y el uso; por lo tanto, para cada horno se deben establecer ajustes periódicos en la potencia y en el tiempo de secado.*

- 10.4** Después de que el tiempo inicial de secado haya terminado, se retira el recipiente con el suelo del horno, se pesa el espécimen inmediatamente o se coloca en un desecador para enfriarlo y permitir su manipulación y prevenir daños en la balanza. Se determina y registra la masa.
- 10.5** Usando una espátula pequeña, un cuchillo, o una varilla corta de vidrio, se mezcla cuidadosamente el suelo, tomando especial precaución para no perder ninguna partícula de él.
- 10.6** Se regresa el recipiente con el suelo al horno y se calienta de nuevo por 1 minuto.

- 10.7** Se repiten los pasos 10.4 a 10.6 hasta que el cambio entre dos determinaciones consecutivas de masa tenga un efecto insignificante en el contenido de humedad calculado. Un cambio de 0.1 % o menos de la masa húmeda inicial de suelo, se considera aceptable para la mayoría los especímenes.
- 10.8** La determinación final de masa ( $M_2$ ) se usa para calcular el contenido de agua. Este valor se obtiene inmediatamente después del ciclo de calentamiento o, si la determinación de masa va a ser retrasada, después del enfriamiento en el desecador.
- 10.9** Cuando se contempla hacer pruebas rutinarias sobre suelos similares, los tiempos de secado y el número de ciclos se pueden normalizar para cada horno. Cuando se utilicen tiempos y ciclos normalizados, ellos se deben verificar periódicamente, para asegurar que los resultados de la masa seca sean equivalentes a los obtenidos siguiendo el procedimiento recomendado en el numeral 10.7.

*Nota 7: El calentamiento por incrementos, junto con la agitación, minimizará el sobrecalentamiento y el secado localizado del suelo, obteniéndose resultados más consistentes con los que se obtienen cuando se utiliza la norma INV E-122. Los incrementos de tiempo recomendados han resultado apropiados para casi todos los especímenes con partículas que pasan el tamiz No. 4 y con una masa aproximada de 200 g; sin embargo, pueden no ser apropiados para todos los suelos y hornos y, por lo tanto, siempre será necesario un ajuste.*

*Nota 8: Los especímenes utilizados en el ensayo deben ser descartados y no se podrán emplear en ningún otro ensayo debido a probables roturas de partículas, cambios químicos, fusión o pérdidas de constituyentes orgánicos.*

## 11 CÁLCULOS

**11.1** El contenido de agua en el suelo se calcula con la fórmula:

$$w = \frac{M_1 - M_2}{M_2 - M_c} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100 \quad [133.1]$$

Donde:  $w$ : Contenido de agua, %;

$M_1$ : Masa del recipiente más suelo húmedo, g;

$M_2$ : Masa del recipiente más suelo seco, g;

$M_c$ : Masa del recipiente, g;

$M_w$ : Masa del agua, g;

$M_s$ : Masa de los sólidos, g.

## 12 INFORME

---

### 12.1 El informe deberá incluir lo siguiente:

- 12.1.1 Identificación de la muestra (material) ensayada, con el número de la perforación, número de la muestra, número del ensayo, etc.
- 12.1.2 Contenido de agua del espécimen, aproximado a 0.1 % para el Método A o 1% para el Método B, descritos en el numeral 7.2 y en la Tabla 122 - 1 de la norma INV E-122.
- 12.1.3 Indicar si el espécimen de prueba tiene una masa menor que la mínima indicada en la Tabla 135 - 1.
- 12.1.4 Indicar si el espécimen contiene más de un tipo de suelo.
- 12.1.5 Relacionar cualquier material excluido del espécimen de prueba.
- 12.1.6 Indicación del tiempo y del ajuste del periodo inicial de secado y de los subsecuentes períodos de secado en incrementos.
- 12.1.7 Masa del espécimen antes de comenzar el secado y la obtenida tras cada secado parcial.
- 12.1.8 Comparación de resultados, si el contenido de agua se determinó también por otro método.
- 12.1.9 Identificación del microondas utilizado.
- 12.1.10 Mención de los tiempos y ciclos usados, si se empleó un procedimiento normalizado para el secado

### 13 PRECISIÓN Y SESGO

---

**13.1** *Precisión* – No se presentan datos sobre precisión, dada la naturaleza de los materiales ensayados mediante este método. A la fecha no ha resultado ni técnica ni económicamente posible, encontrar 10 o más laboratorios para elaborar un programa de ensayo en equipo.

**13.2** *Sesgo* – No hay un valor de referencia aceptado para este método de ensayo; por consiguiente, no se puede determinar el sesgo.

### 14 NORMAS DE REFERENCIA

---

ASTM D 4643 – 08

**Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente**

# DETERMINACIÓN DE LAS MASAS UNITARIAS MÁXIMA Y MÍNIMA PARA EL CÁLCULO DE LA DENSIDAD RELATIVA

INV E – 136 – 13

## 1 OBJETO

---

- 1.1** Este método tiene por objeto indicar el procedimiento que se deberá seguir para determinar la masa unitaria mínima y la masa unitaria máxima de una arena seca, no cementada, que pase en su totalidad por el tamiz de 4.75 mm (No. 4) y que no contenga más de un 10 % del material que pase por el tamiz 75  $\mu\text{m}$  (No. 200).
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E–136–07.

## 2 DEFINICIONES

---

- 2.1** *Masa unitaria seca mínima o densidad seca mínima ( $\rho_{\text{mín}}$ )* – Aquella que se obtiene con este método de ensayo, tratando de evitar tanto la segregación como el apelmazamiento de las partículas de la arena y que está asociada al grado más suelto de compactación o acomodo del suelo.
- 2.2** *Relación de vacíos máxima ( $e_{\text{máx}}$ )* – Es la relación de vacíos de referencia, asociada a la masa unitaria seca mínima.
- 2.3** *Masa unitaria seca máxima o densidad seca máxima ( $\rho_{\text{máx}}$ )* – Aquella que alcanza la arena cuando se la compacta en estado seco con una energía por unidad de volumen de 5500 J/dm<sup>3</sup>, y que está asociada al grado más denso de compactación o acomodo del suelo.
- 2.4** *Relación de vacíos mínima ( $e_{\text{mín}}$ )* – Es la relación de vacíos de referencia, asociada a la masa unitaria máxima.
- 2.5** *Densidad relativa (%  $D_r$ )* – Se define en suelos que permiten drenaje libre o que son no cohesivos, para calificar el grado de compactación de un determinado arreglo del suelo. Es la relación, expresada en porcentaje, entre la diferencia de relación de vacíos máxima del suelo con la relación de vacíos característica del suelo en el estado en que se desea encontrar la  $\rho_r$ , y la diferencia entre las relaciones de vacíos máxima y mínima.

- 2.6** *Índice de masa unitaria o índice densidad ( $I_D$ )* – Definido en suelos que permiten drenaje libre o que son no cohesivos. Es la relación, expresada en porcentaje, entre la diferencia de la masa unitaria o densidad seca característica del suelo con un determinado arreglo, con la masa unitaria mínima o densidad mínima de este mismo suelo y la diferencia de la masa unitaria máxima o densidad máxima con la masa unitaria mínima o densidad mínima.

### 3 IMPORTANCIA Y USO

---

- 3.1** La densidad relativa (%  $D_r$ ) expresa el grado de compactación de un suelo que permite el drenaje libre o que es no cohesivo, con respecto a sus condiciones más suelta y más densa, que son definidas por el método de ensayo dado en esta norma.
- 3.2** Los valores de masa unitaria seca o densidad seca, mínima o máxima, obtenidas por este método, no son necesariamente los absolutos.

### 4 EQUIPO

---

- 4.1** *Molde* – Un molde de capacidad de  $943 \pm 8 \text{ cm}^3$  (1/30 pie<sup>3</sup>); con un diámetro interior de  $101.6 \pm 0.4 \text{ mm}$  ( $4 \pm 0.016$ " ) y una altura de  $116.43 \pm 0.127 \text{ mm}$  ( $4.584 \pm 0.005$ " ), con su respectivo collar de extensión (ver Figura 136 - 1).



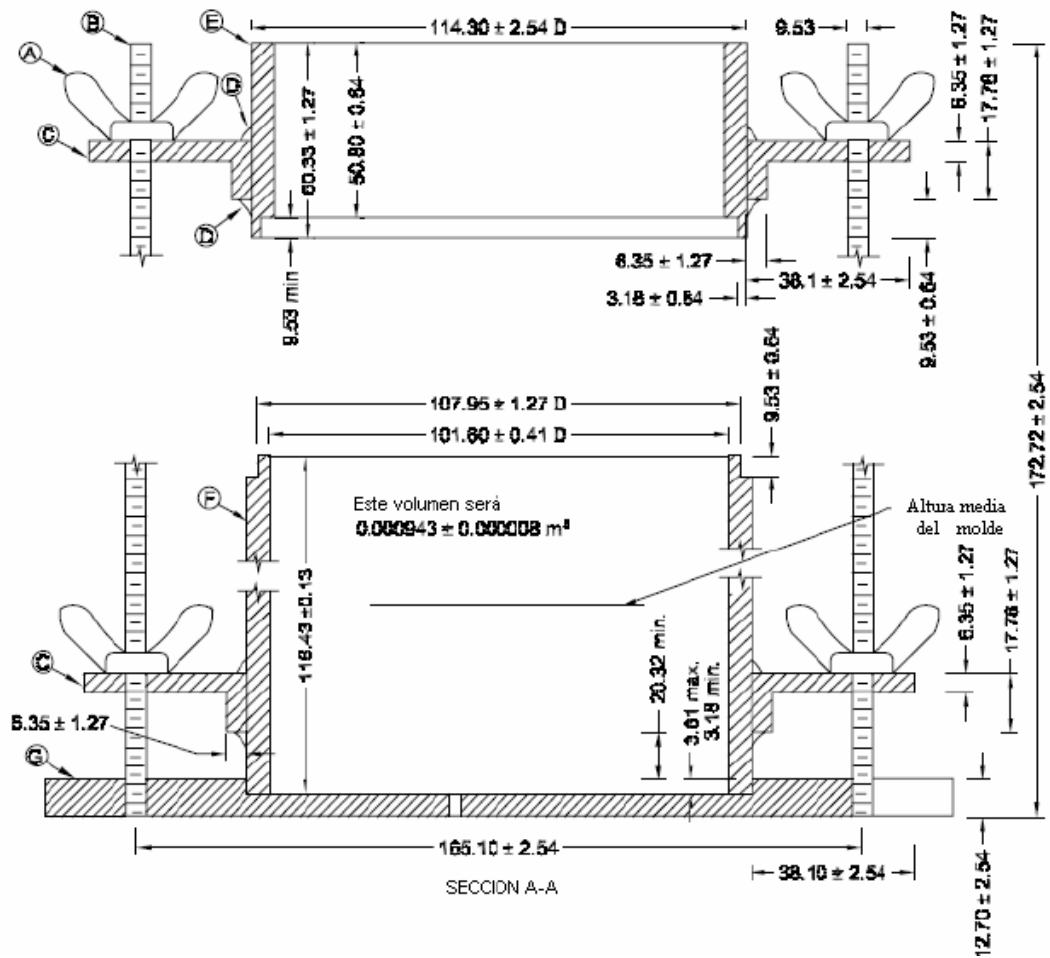


Figura 136 - 1. Molde para obtener masas unitarias máximas y mínimas

- 4.2 *Martillo de compactación* – Un martillo con un pisón de  $4.54 \pm 0.01 \text{ kg}$  y una altura de caída controlada de  $457 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ , accionado a mano o mediante un dispositivo mecánico. La base plana sobre la que ha de golpear el pistón del martillo, que será solidaria con la varilla de guía de la maza, tendrá  $98.4 \text{ mm}$  de diámetro, y espesor  $12.7 \text{ mm}$ . El martillo es el mismo utilizado en la norma de ensayo INV E-748, “Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall”.
- 4.3 *Un embudo* – Cuyas dimensiones interiores se especifican en la Figura 136 - 2.
- 4.4 *Horno* – Un horno de desecación, cuya temperatura sea regulable hasta  $115^\circ\text{C}$ .
- 4.5 *Tamiz* – Un tamiz de  $4.75 \text{ mm}$  de abertura de malla (No. 4).
- 4.6 *Regla* – Para enrasar, de borde recto, afilado y resistente.

- 4.7 *Balanza* – De 10 kg de capacidad, con legibilidad de 1 g.
- 4.8 *Calibrador* – Un micrómetro o calibrador que aprecie décimas de milímetro.

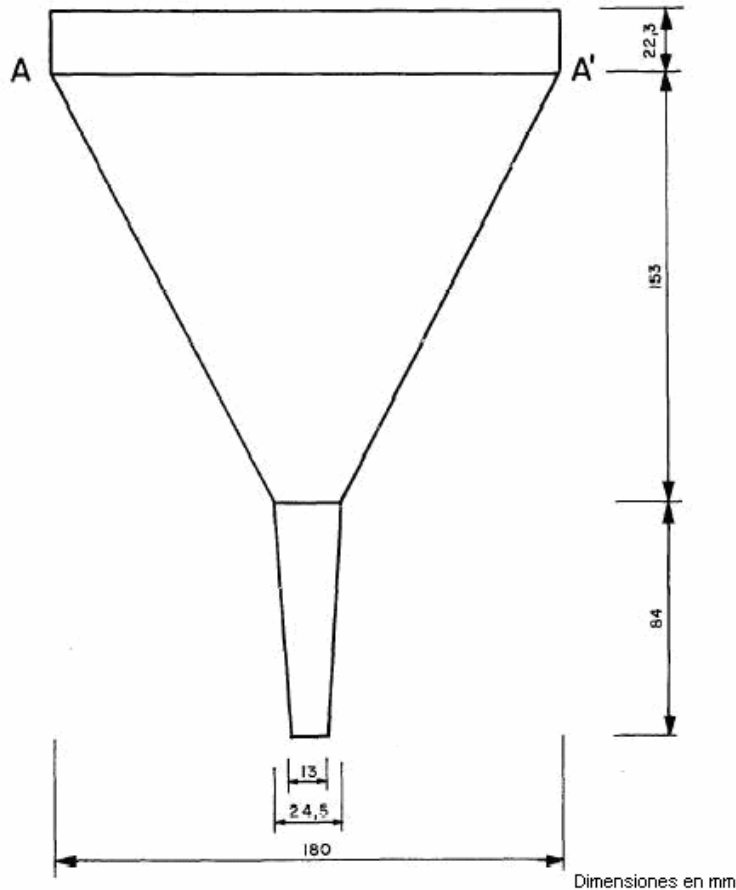


Figura 136 - 2. Embudo para determinación de masas unitarias mínimas

## 5 MUESTRA

- 5.1 Se deberá tomar suficiente material para poder obtener por cuarteo las cantidades de muestra descritas en las Secciones siguientes y se deberá secar en el horno hasta masa constante, a una temperatura de 105 a 115 ° C. Para materiales con yeso, esta temperatura deberá ser inferior a 60 ° C. Luego de esta operación, el material se deberá tamizar por el tamiz de 4.75 mm de abertura (No. 4).
- 5.2 Para la masa unitaria mínima o densidad mínima, se deberán tomar 5 kg de material representativo de la muestra a ensayar.

- 5.3** Para la masa unitaria máxima o densidad máxima, se deberán tomar 6 kg de material representativo de la muestra a ensayar.

## 6 PROCEDIMIENTO

- 6.1** En la determinación de las dos masas unitarias, máxima y mínima, se deberá obtener el volumen real del recipiente ( $V$ ) en  $\text{cm}^3$ , mediante tres medidas de su altura y su diámetro con un calibrador, o mediante un método que se considera más apropiado, el cual consiste en llenar el molde completamente con agua y enrasar con una placa de vidrio; luego de esto, determinar la masa de agua que queda dentro del molde. Se deberá tomar la temperatura del agua y se multiplicará el valor de la masa obtenida por el valor del volumen de agua por gramo (Tabla 136 - 1), de acuerdo a la temperatura leída.

Tabla 136 - 1. Densidad del agua de acuerdo a la temperatura

TEMPERATURA (° C)	VOLUMEN DE AGUA POR GRAMO ( $\text{cm}^3/\text{g}$ )
15	1.00090
16	1.00106
17	1.00122
18	1.00140
19	1.00159
20	1.00180
21	1.00201
22	1.00223
23	1.00246
24	1.00271
25	1.00296
26	1.00322
27	1.00350
28	1.00378
29	1.00407
30	1.00437

- 6.2** Para encontrar la masa unitaria mínima, se deberá tarar y anotar la masa ( $m_1$ ) del molde con la base y sin el collar superior, expresada en g, con una precisión de 1 g. Para el llenado del molde y la determinación de la masa suelta se debe proceder así:

- 6.2.1** Se colocará el dedo en la parte inferior del embudo y se llenará con material de la primera porción separada hasta AA' (ver Figura 136 - 2), evitando la segregación durante todo este proceso. Se situará el embudo centrado en el interior del molde cilíndrico, de modo que el dedo toque el fondo de éste. Se quitará el dedo y, manteniendo el embudo en el eje del molde, se elevará lentamente a medida que caiga libremente la arena, de modo que la altura de caída sea la menor posible, y prácticamente constante durante el proceso de llenado del molde. Cuando se haya formado un cono de arena cuya base sea la boca del molde, se separará el embudo con rapidez.
- 6.2.2** Se enrasará la arena con la boca del molde. Esta operación se debe realizar por etapas, de modo que se vayan formando sucesivos troncos de cono de bases paralelas. Se debe tener especial cuidado para no compactar la arena; para ello, se debe evitar cualquier golpe o vibración sobre el recipiente durante el enrase.
- 6.2.3** Se determinará la masa del molde lleno más la base, ( $m_2$ ), expresada en g, con una precisión de 1 g. Se repetirá el ensayo con la otra porción de muestra previamente separada.
- 6.3** Para encontrar la masa unitaria máxima, se deberá tarar y anotar la masa ( $m_3$ ) del molde con la base y sin el collar superior, expresada en g, con una precisión de 1 g. Para la compactación de la arena y determinación de la masa compacta máxima se deberá proceder así:
- 6.3.1** Se compactará la muestra en el molde con el collar de extensión adosado, en cinco capas aproximadamente iguales, aplicando a cada una de las capas 50 golpes del martillo desde la altura ya indicada. La última tongada compactada deberá entrar unos 10 mm en el collar de extensión. Durante la compactación, se deberá colocar el molde sobre una base sólida de concreto cuya masa no sea inferior a 90 kg, para que no amortigüe los golpes.
- 6.3.2** Después de llenar y compactar el material en el molde, se quitará el collar y se enrasará la muestra cuidadosamente. Se determinará y anotará la masa ( $m_4$ ) del conjunto correspondiente al molde más el suelo más la base, expresándola en g con una precisión de 1 g. Se deberá repetir la operación con la otra porción de suelo preparada previamente.

## 7 CÁLCULOS

**7.1** La masa unitaria seca mínima, expresada en  $\text{g/cm}^3$ , está dada por la relación:

$$\rho_{\text{mín}} = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad [136.1]$$

Se adoptará como densidad seca mínima, la media aritmética de los resultados obtenidos en las dos operaciones realizadas.

**7.2** La masa unitaria seca máxima, expresada en  $\text{g/cm}^3$ , está dada directamente por la relación:

$$\rho_{\text{máx}} = \frac{m_4 - m_3}{V} \quad [136.2]$$

Se adoptará como densidad máxima, la media aritmética de los resultados obtenidos en las dos determinaciones realizadas.

**7.3** La densidad relativa,  $D_r$  (%), se obtendrá de las siguientes relaciones:

$$D_r (\%) = \frac{e_{\text{máx}} - e}{e_{\text{máx}} - e_{\text{mín}}} \times 100 \quad [136.3]$$

En términos de masas unitarias secas o densidades secas:

$$D_r (\%) = \frac{\rho_{d \text{ máx}} (\rho_d - \rho_{d \text{ mín}})}{\rho_d (\rho_{d \text{ máx}} - \rho_{d \text{ mín}})} \times 100 \quad [136.4]$$

Donde:  $e$ : Relación de vacíos del suelo en el estado en el cual se desea obtener la densidad relativa;

$\rho_d$ : Densidad seca del suelo en el estado en el cual se desea obtener la densidad relativa.

**7.4** El índice de masa unitaria o índice de densidad,  $I_D$ , se obtiene con la siguiente relación:

$$I_D (\%) = \frac{\rho_d - \rho_{d \text{ mín}}}{\rho_{d \text{ máx}} - \rho_{d \text{ mín}}} \times 100 \quad [136.5]$$

## 8 INFORME

---

**8.1** El informe debe contener la siguiente información:

**8.1.1** Referencias del material al cual se le realizó el ensayo.

**8.1.2** Los valores de masa unitaria o densidad máxima y mínima.

**8.1.3** La densidad relativa y el índice de densidad, si se conoce la densidad seca del suelo en el estado en el cual se desean evaluar esos parámetros.

## 9 NORMAS DE REFERENCIA

---

UNE 103-105-93

UNE 103-106-93

## RELACIONES HUMEDAD – PESO UNITARIO SECO EN LOS SUELOS (ENSAYO NORMAL DE COMPACTACIÓN)

INV E – 141 – 13

### 1 OBJETO

- 1.1** Los siguientes métodos de ensayo se emplean para determinar la relación entre la humedad y el peso unitario seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 101.6 o 152.4 mm (4 o 6") de diámetro, con un martillo de 24.5 N (5.5 lbf) que cae libremente desde una altura de 305 mm (12"), produciendo una energía de compactación aproximada de 600 kN–m/m<sup>3</sup> (12 400 lbf–pie/pie<sup>3</sup>).
- 1.2** Estos métodos aplican solamente a suelos con 30 % o menos de su masa con tamaño mayor a 19.0 mm y que no hayan sido compactados previamente; es decir, no se acepta la reutilización de un suelo compactado.
- 1.2.1** Para establecer relaciones entre pesos unitarios y humedades de moldeo de suelos con 30% o menos de su masa con tamaño mayor a 19.0 mm y pesos unitarios y humedades de la fracción que pasa el tamiz de 19.0 mm (3/4"), se deberá aplicar la corrección a la cual hace referencia la norma INV E–143.
- 1.3** Esta norma presenta tres alternativas para la ejecución del ensayo (Tabla 141 - 1). El método por utilizar deberá ser el indicado en la especificación para el material por ensayar. Si la especificación no indica un método, la elección se deberá realizar en función de la granulometría del material.

Tabla 141 - 1. Métodos para realizar el ensayo normal de compactación

MÉTODO	A	B	C
DIÁMETRO DEL MOLDE	101.6 mm (4")	101.6 mm (4")	152.4 mm (6")
MATERIAL	Pasa tamiz de 4.75 mm (No. 4)	Pasa tamiz de 9.5 mm (3/8")	Pasa tamiz de 19.0 mm (3/4")
CAPAS	3	3	3
GOLPES/CAPA	25	25	56
USO	Si 25% o menos de la masa del material queda retenida en el tamiz de 4.75 mm (No. 4) (Ver numeral 1.4)	Si 25% o menos de la masa del material queda retenida en el tamiz de 9.5 mm (3/8") (Ver numeral 1.4)	Si 30% o menos de la masa del material queda retenida en el tamiz de 19.0 mm (3/4") (Ver numeral 1.4)
OTRO USO	Si este requisito de	Si este requisito de	

	granulometría no se puede cumplir, se debe usar el Método C	granulometría no se puede cumplir, se debe usar el Método C	
--	---	---	--

**1.3.1** El molde de 152.4 mm (6") de diámetro no se debe usar con los métodos A o B.

*Nota 1: Se ha encontrado que los resultados varían ligeramente cuando el material se compacta con la misma energía en moldes de diferente tamaño, obteniéndose los mayores valores cuando se emplea el molde pequeño.*

- 1.4** Si la muestra de ensayo contiene más de 5 %, en masa, de sobretamaños (fracción gruesa) y este material no se va a incluir en el ensayo, se deberán corregir el peso unitario y el contenido de agua de moldeo de la muestra de laboratorio o el peso unitario del espécimen del ensayo de densidad en el terreno, empleando la norma INV E-143.
- 1.5** Este método produce una curva de compactación con un peso unitario seco máximo bien definido, cuando se ensayan suelos que no presentan drenaje libre. Si el suelo presenta drenaje libre, el peso unitario seco máximo no se puede definir con precisión.
- 1.6** Esta norma reemplaza la norma INV E-141-07.

## 2 DEFINICIONES

- 2.1** *Humedad de moldeo* – Contenido de agua con el cual se prepara una muestra para someterla a compactación.
- 2.2** *Energía del ensayo normal de compactación* – 600 kN-m/m<sup>3</sup> (12 400 lbf-pie/pie<sup>3</sup>), aplicada con el equipo y procedimiento descritos en esta norma.
- 2.3** *Peso unitario seco máximo del ensayo normal de compactación ( $\gamma_{d, \text{máx}}$ )* – El máximo valor definido en la curva de compactación obtenida como resultado del ensayo realizado con la energía indicada en el numeral 2.2.
- 2.4** *Humedad óptima del ensayo normal de compactación ( $w_{opt}$ )* – La humedad de moldeo con la cual el suelo alcanza el peso unitario seco máximo usando la energía normalizada.
- 2.5** *Sobretamaños (fracción gruesa) ( $P_{FG}$ )* – Porción de la muestra total que no se utiliza en la prueba de compactación. Es la retenida en el tamiz de 4.75 mm (No. 4) cuando se utiliza el Método A; la retenida en el tamiz de 9.5 mm (3/8")



cuando se emplea el Método B, o la retenida en el tamiz de 19.0 mm ( $\frac{3}{4}$ " ) cuando se emplea el Método C.

- 2.6** *Fracción de ensayo (fracción fina) ( $P_{FE}$ )* – Es la porción de la muestra total que se emplea en el ensayo de compactación. Corresponde al material que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4) cuando se utiliza el Método A; al pasante por el tamiz de 9.5 mm ( $\frac{3}{8}$ " ) cuando se emplea el Método B, o al pasante por el tamiz de 19.0 mm ( $\frac{3}{4}$ " ) cuando se emplea el Método C.

### 3 RESUMEN DEL MÉTODO

---

- 3.1** Se coloca en tres capas una muestra de suelo, con una humedad de moldeo seleccionada, dentro de un molde, sometiendo cada capa a 25 o 56 golpes de un martillo de 24.5 N (5.5 lbf) que cae desde una altura de 305 mm (12"), produciendo una energía de compactación aproximada de 600 kN-m/m<sup>3</sup> (12 400 lbf-pie/pie<sup>3</sup>). Se determina el peso unitario seco resultante. El procedimiento se repite con un número suficiente de humedades de moldeo, para establecer una curva que relacione las humedades con los respectivos pesos unitarios secos obtenidos. Esta curva se llama curva de compactación y su vértice determina la humedad óptima y el peso unitario seco máximo, para el ensayo normal de compactación.

### 4 IMPORTANCIA Y USO

---

- 4.1** Los suelos y mezclas de suelo-agregado usados como relleno en obras de ingeniería se compactan a cierto nivel, con el fin de lograr un comportamiento satisfactorio en términos de su resistencia al corte, su compresibilidad o su permeabilidad. Así mismo, los suelos de fundación se compactan a menudo para mejorar sus propiedades de ingeniería. Los ensayos de compactación en el laboratorio suministran la base para determinar el porcentaje de compactación y la humedad de moldeo necesaria para que el suelo alcance el comportamiento requerido.
- 4.2** Durante el diseño de una obra de ingeniería, algunos ensayos requieren la preparación de muestras de prueba con determinada humedad y con un peso unitario establecido. Constituye una práctica común determinar primero la humedad óptima y el peso unitario seco máximo a través de un ensayo de compactación. Posteriormente, se elaboran los especímenes de ensayo para el diseño específico, empleando humedades por encima o por debajo de la

óptima y pesos unitarios secos expresados como un porcentaje del máximo. La selección de estas humedades y de estos pesos unitarios se debe basar en la experiencia del profesional o, de lo contrario, conviene hacer una investigación dentro de unos rangos de valores, para establecer el porcentaje de compactación apropiado.

**4.3** La experiencia indica que los procedimientos descritos en el numeral 4.2 o los controles de construcción mencionados en el numeral 4.1 son muy difíciles de implementar o producen resultados erróneos, cuando se trata con determinados suelos. Los numerales 4.3.1 a 4.3.3 describen algunos casos problemáticos típicos.

**4.3.1** *Presencia de partículas mayores de  $\frac{3}{4}$ "* – Los suelos que contienen más de 30 % de partículas superiores a 19 mm ( $\frac{3}{4}$ " ) constituyen un problema. Para tales suelos no existe norma de ensayo INV para determinar sus condiciones de compactación en el laboratorio. La antigua práctica de reemplazar la fracción de tamaño mayor por otra más fina, ha demostrado ser inapropiada para determinar el peso unitario seco máximo y la humedad óptima de suelos que contengan estas partículas de mayor tamaño.

**4.3.1.1** Un método para diseñar y controlar la compactación de estos suelos consiste en el uso de un relleno de prueba para determinar el grado requerido de compactación y el método para obtenerla, seguido por el establecimiento de una especificación de método para controlar la compactación. Una especificación de método contiene, típicamente, el tipo y tamaño del equipo de compactación por usar, el espesor de la capa, el rango aceptable en el contenido de agua y el número de pasadas. El éxito en la aplicación de una especificación de este tipo depende, en gran medida, de la calificación y la experiencia del constructor y del interventor.

**4.3.1.2** Otro método consiste en aplicar los factores de corrección desarrollados por el USDI Bureau of Reclamation (notas 2 y 3) y el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de USA (nota 4). Estos factores de corrección se pueden aplicar a suelos con una proporción de sobretamaños hasta de 50 y 70 %. Cada agencia aplica un término diferente para estos factores de corrección de densidad. El USDI Bureau of Reclamation usa un valor D, mientras el Cuerpo de Ingenieros usa un coeficiente de interferencia de densidad (Ic).

*Nota 2: UNITED STATES BUREAU OF RECLAMATION, Earth Manual, Part 1, Third Edition, 1998, pp. 255-260.*

*Nota 3: UNITED STATES BUREAU OF RECLAMATION, Earth Manual, Part 2, Third Edition, 1990.*

*Nota 4: VICTOR H TORREY III, "Compaction control of earth-rock mixtures: how to develop and use density interference coefficients and optimum water content factors", Geotechnical Laboratory, Department of the Army, Waterways Experiment Station, Corps of Engineers 3909 Halls Ferry Road, Vicksburg, Mississippi 39180-6199, 1992*

- 4.3.2** *Degradación* – Los suelos que contiene partículas que se degradan durante la compactación constituyen un problema, en especial en el caso frecuente de que la degradación sea mayor en el laboratorio que en el terreno. Es típica la ocurrencia de la degradación cuando se compacta un material granular residual. La degradación hace que el peso unitario seco máximo de laboratorio se incremente, lo que hace que el valor obtenido en el laboratorio no sea representativo de las condiciones de campo. En estos casos, es muy frecuente que resulte imposible alcanzar en el terreno el máximo peso unitario seco.
- 4.3.3** *Gradación discontinua* – Los suelos que contienen bastantes partículas grandes y pocas pequeñas son un problema, por cuanto el suelo compactado contendrá más vacíos de lo usual. Para manejar estos elevados volúmenes de vacíos, los métodos tradicionales de laboratorio y de campo han venido siendo modificados aplicando el juicio ingenieril.

## 5 EQUIPO

---

- 5.1** *Moldes* – Los moldes deberán ser cilíndricos, de paredes sólidas, fabricados con metal, y con las dimensiones y capacidades mostradas más adelante. Deberán tener collares ajustables de aproximadamente 60 mm (2.373") de altura, que permitan la preparación de muestras compactadas de mezclas de suelo con agua, con la altura y el volumen deseados. El conjunto de molde y collar deberá estar construido de tal manera que pueda encajar firmemente en una placa de base hecha del mismo material.
- 5.1.1** *Molde de 101.6 mm (4")* - Con una capacidad de  $943 \pm 14 \text{ cm}^3$  ( $1/30 \pm 0.0005 \text{ pie}^3$ ), con un diámetro interior de  $101.6 \pm 0.4 \text{ mm}$  ( $4.000 \pm 0.016$ ") y una altura de  $116.4 \pm 0.5 \text{ mm}$  ( $4.584 \pm 0.018$ ") (ver Figura 141 - 1).

- 5.1.2** *Molde de 152.4 mm (6")* – Con una capacidad de  $2124 \pm 25 \text{ cm}^3$  (equivalente a  $1/13.33 \pm 0.0009 \text{ pie}^3$ ), con un diámetro interior de  $152.4 \pm 0.7 \text{ mm}$  ( $6 \pm 0.026''$ ) y una altura de  $116.4 \pm 0.5 \text{ mm}$  ( $4.584 \pm 0.018''$ ) (ver Figura 141 - 2).
- 5.2** *Martillo metálico* – Puede ser de operación manual (numeral 5.2.1) o mecánica (numeral 5.2.2), con una masa de  $2.495 \pm 0.023 \text{ kg}$  ( $5.5 \pm 0.02 \text{ lb}$ ), que tenga una cara plana circular (excepto lo anotado en el numeral 5.2.2.1), de diámetro de  $50.80 \pm 0.13 \text{ mm}$  ( $2.000 \pm 0.005''$ ). El diámetro real de servicio no podrá ser menor de  $50.42 \text{ mm}$  ( $1.985''$ ). El martillo deberá estar provisto de una camisa guía apropiada que controle la altura de la caída del golpe desde una altura libre de  $304.8 \pm 1 \text{ mm}$  ( $12.00 \pm 0.05''$ ) por encima de la altura del suelo. El martillo se deberá reemplazar si la cara de golpeo se desgasta o se acampana de manera que su diámetro se salga del rango  $50.80 \pm 0.25 \text{ mm}$  ( $2.000 \pm 0.01''$ ).
- 5.2.1** *Martillo de operación manual* – Deberá estar provisto de una camisa guía apropiada, que brinde una luz suficiente para que la caída del martillo y la cabeza no tengan restricciones. La camisa guía deberá tener, al menos, 4 agujeros de ventilación en cada extremo (8 en total), ubicados a  $19 \pm 2 \text{ mm}$  ( $3/4 \pm 3/16''$ ) del extremo, espaciados aproximadamente a  $90^\circ$  ( $1.57 \text{ rad}$ ). El diámetro mínimo de los orificios de ventilación debe ser de  $9.5 \text{ mm}$  ( $3/8''$ ). De ser necesario, se pueden incorporar agujeros adicionales o ranuras en la camisa del martillo.
- 5.2.2** *Martillo con cara circular, de operación mecánica* – Debe operar de manera que proporcione a la muestra un cubrimiento uniforme y completo. Deberá quedar una luz libre de  $2.5 \pm 0.8 \text{ mm}$  ( $0.10 \pm 0.03''$ ) entre el martillo y la superficie interior del molde de ensayo de menor dimensión. El martillo deberá disponer de algún medio mecánico que lo soporte mientras no está en operación.
- 5.2.2.1** *Martillo de cara de sector circular, de operación mecánica* – Se puede usar con el molde de  $152.4 \text{ mm}$  ( $6''$ ) de diámetro, en lugar del martillo de cara circular. Su cara de compactación debe tener la forma de un sector de círculo de radio igual a  $73.7 \pm 0.5 \text{ mm}$  ( $2.90 \pm 0.02''$ ) y un área aproximadamente igual a la de cara circular (Ver numeral 5.2). El martillo debe operar de manera que el vértice del sector circular quede posicionado en el centro de la muestra de ensayo.

- 5.3** *Extractor de muestras (opcional)* – Un gato con marco u otro dispositivo adecuado para extraer las muestras compactadas de los moldes.
- 5.4** *Balanzas* – Una de 11.5 kg de capacidad y aproximación de lectura de 1 g, cuando se use para pesar moldes de 152.4 mm (6") con suelos húmedos compactados; cuando se emplee el molde de 101.6 mm (4") se puede usar una balanza de menor capacidad, si su aproximación de lectura es de 1 g. También, se requiere otra balanza de 1 kg de capacidad con legibilidad de 0.1 g para las determinaciones de humedad.
- 5.5** *Horno* – Termostáticamente controlado, preferiblemente de tiro forzado, capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5$  °C (230 + 9°F), para el secado de las muestras.
- 5.6** *Regla metálica* – De acero endurecido, de borde recto, al menos de 250 mm (10") de largo. El borde de corte y enrasado deberá ser biselado, si tiene más de 3 mm (1/8") de espesor. La regla no deberá ser tan flexible que cuando se enrase el suelo con el borde cortante, proporcione una superficie cóncava en la superficie de la muestra.
- 5.7** *Tamices* – De 19.0, 9.5 y 4.75 mm (¾", 3/8" y No. 4).
- 5.8** *Herramientas misceláneas* – Tales como cazuelas para mezclado, espátulas, etc., o un dispositivo mecánico adecuado para mezclar las muestras de suelo con diversas cantidades de agua.
- 5.9** *Recipientes* – Para determinar la humedad de las muestras, elaborados en metal u otro material adecuado, con cierres que ajusten herméticamente para evitar la pérdida de humedad durante el pesaje.

## 6 MUESTRA DE ENSAYO

---

- 6.1** La cantidad mínima de muestra para un ensayo completo empleando los Métodos A o B es de unos 16 kg, y para el Método C de 29 kg. Por lo tanto, la muestra de campo debería tener una masa húmeda de, al menos, 23 kg y 45 kg, respectivamente. Se pueden requerir masas mayores si la muestra contiene sobretamaños o si es necesario elaborar puntos de compactación adicionales.
- 6.2** Si no se dispone de los datos de granulometría de la muestra, se estiman las proporciones de material retenido en el tamiz de 4.75 mm (No. 4) cuando se

utiliza el Método A; en el tamiz de 9.5 mm (3/8") cuando se emplea el Método B, o en el tamiz de 19.0 mm (¾") cuando se emplea el Método C. Si se considera que el porcentaje retenido está muy cerca del límite admitido por el método de compactación que se va a utilizar, entonces se escoge alguna de las siguientes tres opciones:

- 6.2.1** Se elige un método que permita un mayor porcentaje retenido (por ejemplo, el B o el C, si inicialmente se pretende utilizar el A).
- 6.2.2** Usando el método de interés, se procesa la muestra como se indica en los numerales 7.2 o 7.3, con lo que se determina el porcentaje retenido para dicho método. Si resulta aceptable, se procede; en caso contrario, se va al método siguiente (B o C).
- 6.2.3** Se determinan los valores de los porcentajes retenidos usando una porción representativa de la muestra y empleando la norma de ensayo INV E-213. Solamente se necesita determinar los porcentajes retenidos en el tamiz o los tamices deseados.

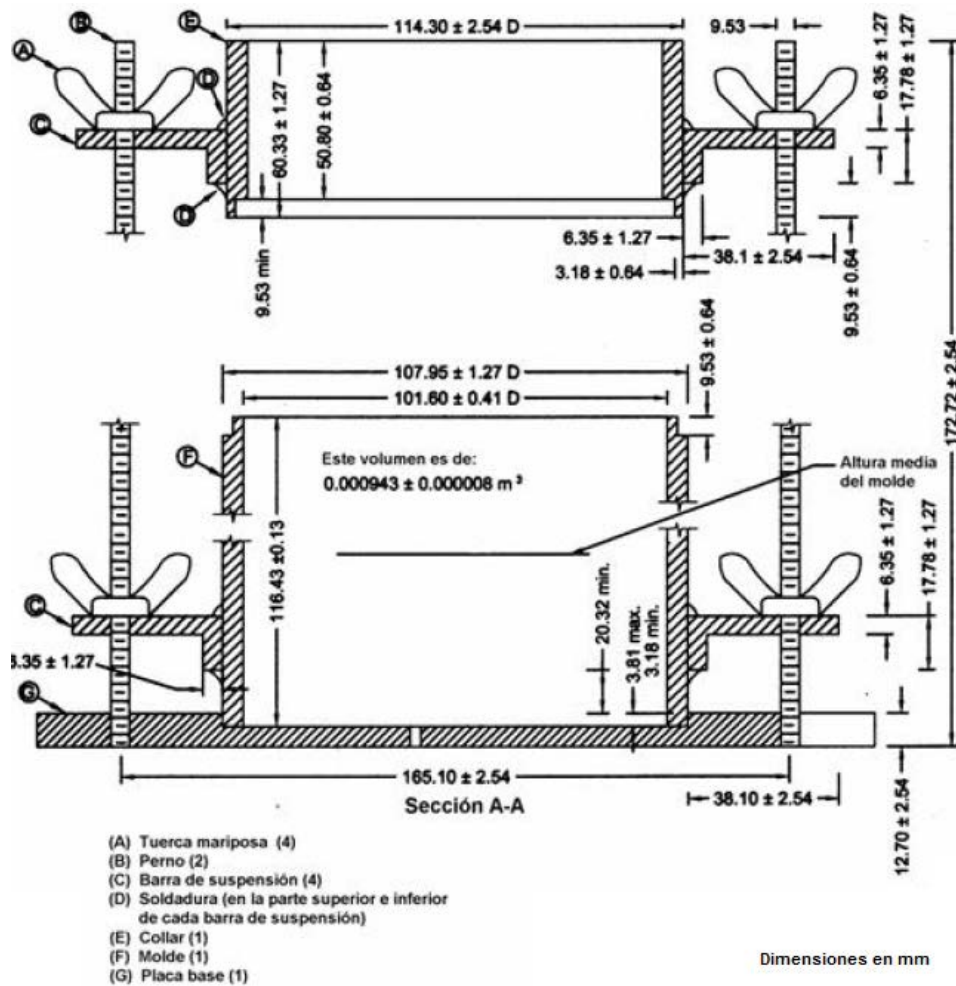


Figura 141 - 1. Molde cilíndrico de 101.6 mm (4.0") para ensayos de suelos

## 7 PROCEDIMIENTO

### 7.1 Suelos:

- 7.1.1** No se pueden utilizar muestras de suelo previamente compactadas en el laboratorio. Ello daría como resultado valores mayores de peso unitario seco máximo.
- 7.1.2** Cuando se use este método con suelos que contengan haloisita hidratada, o en los cuales la experiencia indica que los resultados se pueden ver afectados por el secado al aire de las muestras, se deberá emplear el método de preparación por vía húmeda (Ver numeral 8.2). En ensayos de comparación, cada laboratorio debe utilizar el mismo método de preparación, sea por vía húmeda (el preferido), sea por vía seca.

**7.1.3** Se preparan las muestras para ensayo de acuerdo con el numeral 7.2 (preferido) o con el numeral 7.3.

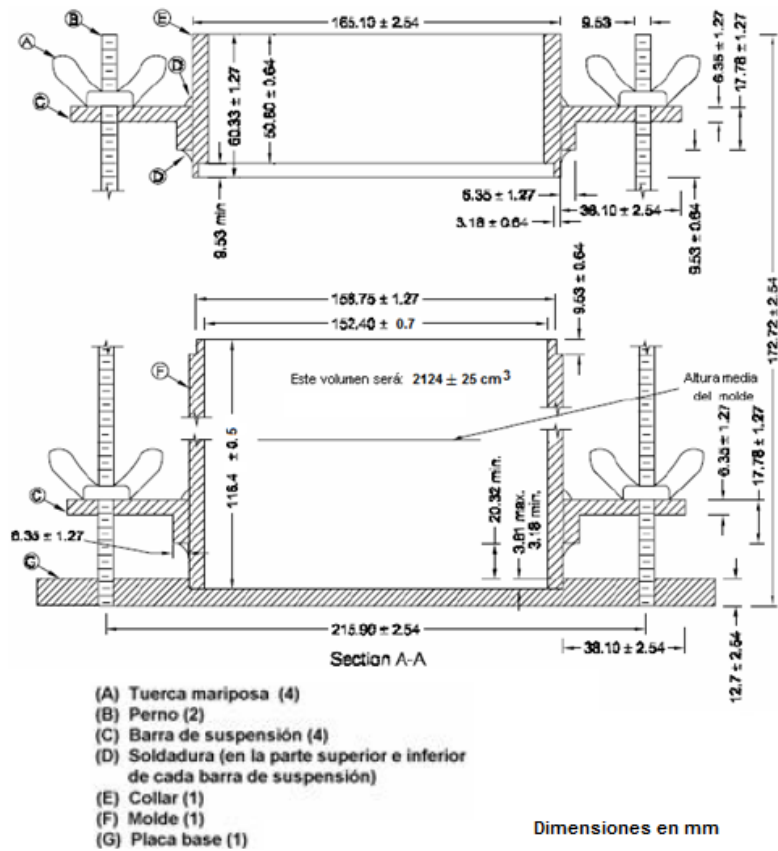


Figura 141 - 2. Molde cilíndrico de 152.4 mm (6.0") para ensayos de suelos

**7.2 Preparación por vía húmeda (preferida)** – Sin secado previo de la muestra, se procesa ésta sobre un tamiz de 4.75 mm (No. 4), de 9.5 mm (3/8") o de 19.0 mm (¾"), dependiendo del Método (A, B o C) a ser usado o requerido, de acuerdo con lo citado en el numeral 6.2 Se determinan y registran las masas de los materiales pasante y retenido en ese tamiz (fracción de ensayo y fracción gruesa, respectivamente). Se seca en el horno la fracción gruesa y se determina y registra su masa, con aproximación a 1 g. Si resulta que más del 0.5 % de la masa seca total de la muestra está adherida a la fracción gruesa, se deberá lavar esta fracción. Luego, se determina y registra su masa seca, con aproximación a 1 g. Se determina y registra la humedad de la fracción de ensayo (fracción fina). Usando esta humedad, se determina y anota la masa seca al horno de esta fracción, con aproximación a 1 g. Con base en estas masas secas, se determina el porcentaje de la fracción con sobretamaños,  $P_{FG}$ , y el porcentaje de la fracción de ensayo,  $P_{FE}$ , a menos que se haya realizado



previamente el ensayo de granulometría completo (Ver Sección 8 para los cálculos).

- 7.2.1** Se seleccionan y preparan al menos cuatro (preferiblemente cinco) sub-muestras de la fracción de ensayo, con humedades que abarquen la humedad óptima estimada. En primer lugar, se prepara una sub-muestra con una humedad cercana a la que se cree que es la óptima (nota 5). Luego se eligen las humedades para las otras sub-muestras con variaciones de 2 % y buscando que dos de ellas sean superiores a la óptima y dos inferiores a ella. Se requieren, al menos, dos humedades a cada lado de la óptima, para definir correctamente la curva de compactación (Ver numeral 7.5). Algunos suelos cuya humedad óptima es muy elevada o cuya curva de compactación es muy plana, requieren incrementos mayores en el contenido de agua para preparar las sub-muestras. En todo caso, ellos no deben exceder de 4 %.

*Nota 5: Con práctica, es posible juzgar visualmente un punto de humedad cercano al óptimo. Típicamente, cuando los suelos cohesivos tienen la humedad óptima se pueden apretar formando un terrón que no se separa cuando se libera la presión de la mano, pero que se rompe limpiamente en dos secciones cuando se dobla. Estos suelos tienden a desmenuzarse cuando su humedad está por debajo de la óptima, mientras que tienden a mantenerse en una masa pegajosa cuando su humedad es mayor que la óptima. Su contenido óptimo de agua es, típicamente, algo menor que el límite plástico. Por el contrario, el contenido óptimo de los suelos sin cohesión es cercano a cero o al punto donde aflora el agua a la superficie del terrón.*

- 7.2.2** Se mezcla completamente la fracción de ensayo (fracción fina), y luego se selecciona con una cuchara una porción representativa para constituir cada sub-muestra (punto de compactación). Se deben seleccionar por sub-muestra más o menos 2.3 kg cuando se usen los Métodos A o B, o unos 5.9 kg para el Método C. Para obtener las humedades de moldeo mencionadas en el numeral 7.2.1 se debe añadir o remover agua de la siguiente manera: (1) para añadir agua, se la atomiza durante la operación de mezclado y (2) para remover, se permite que el suelo se seque a la temperatura ambiente o en un aparato que no lleve la temperatura más allá de 60° C (140° F). Mezclar frecuentemente el suelo durante el secado, facilita que el agua se distribuya de manera uniforme. Una vez que cada sub-muestra tenga la humedad apropiada, se coloca dentro de un recipiente con tapa, para someterla a un período de curado previo a la compactación, de acuerdo con la Tabla 141 - 2.

Tabla 141 - 2. Tiempo requerido de curado para las sub-muestras húmedas

CLASIFICACIÓN DEL SUELO	TIEMPO DE CURADO (h)
GW, GP, SW, SP	No requiere
SW, SP	3
Todos los demás suelos	16

**7.3 Preparación por vía seca** – Si la muestra se encuentra muy húmeda para ser desmenuzada, se reduce su contenido de agua secándola al aire hasta volverla friable. El secado también se puede realizar en un aparato que no lleve la temperatura más allá de 60° C (140° F). Se desintegran totalmente las agregaciones, sin romper partículas individuales. Se procesa el material sobre el tamiz apropiado, de acuerdo con el método de ensayo elegido. Cuando se prepare material pasante por el tamiz de 19.0 mm (¾") para compactarlo en el molde de 15.4 mm (6"), las agregaciones se deben romper lo suficiente para que pasen el tamiz de 9.5 mm (3/8"), con el fin de facilitar la distribución completa del agua durante el mezclado posterior. Se determina y anota el contenido de agua de la fracción de ensayo, así como todas las masas citadas en el numeral 8.2, para determinar el porcentaje de la fracción con sobretamaños,  $P_{FG}$ , y el porcentaje de la fracción de ensayo,  $P_{FE}$ .

**7.3.1** Se seleccionan y preparan al menos cuatro (preferiblemente cinco) sub-muestras de la fracción de ensayo, de la manera descrita en los numerales 7.2.1 y 7.2.2, con la diferencia de que se debe usar un cuarteador mecánico o se cuartea manualmente para obtener las sub-muestras. Típicamente, siempre se requerirá añadir agua para preparar las sub-muestras para la compactación.

**7.4 Compactación** – Luego del período de curado, si éste se requiere, cada sub-muestra (punto de compactación) se debe compactar como se indica en seguida.

**7.4.1** Se determina y registra la masa del molde o del molde más la placa de base (Ver numeral 7.4.7).

**7.4.2** Se ensambla y asegura el collar de extensión al molde y el conjunto a la placa de base. Se verifican las alineaciones de las paredes interiores del molde y del collar y se hacen los ajustes que sean necesarios. El molde se deberá apoyar, sin bamboleo alguno, sobre una fundación firme y rígida, como la que puede brindar un cubo de concreto con una masa

no menor de 91 kg (200 lb). Se asegura la placa de base del molde a la fundación rígida. El método de aseguramiento deberá permitir que, luego de la compactación, el molde (con el collar y la base) se pueda retirar con facilidad.

- 7.4.2.1** Durante la compactación es ventajoso, aunque no indispensable, determinar la humedad de cada sub-muestra. Esto brinda una verificación sobre la humedad de moldeo determinada previamente para cada punto de compactación y sobre la magnitud del afloramiento de agua (Ver numeral 7.4.9). Si se decide hacer esto, será necesario que la sub-muestra tenga una masa mayor que la citada con anterioridad.
- 7.4.3** El suelo se debe compactar en tres capas más o menos iguales. Antes de la compactación, se coloca aproximadamente un tercio de la sub-muestra en estado suelto dentro del molde y se reparte para que dé lugar a una capa uniforme. En seguida, se oprime suavemente su superficie hasta que el suelo no presente un estado esponjoso o suelto, usando el martillo de operación manual o un cilindro de unos 50 mm (2") de diámetro. Tras la compactación de las dos primeras capas, cualquier porción de suelo que no haya quedado compactada debe ser escarificada con un cuchillo u otro elemento adecuado. El suelo escarificado se deberá descartar. La cantidad total de suelo usada deberá ser tal, que la tercera capa compactada sobrepase el borde del molde, quedando dentro del collar de extensión, pero en una longitud que no exceda de 6 mm (¼"). Si se excede este límite, se deberá descartar el punto de compactación. Adicionalmente, el punto de compactación se deberá descartar cuando el último golpe del martillo para la tercera capa tiene como resultado que el fondo del martillo llega más abajo del borde superior del molde de compactación; a menos que el suelo sea suficientemente manejable, de manera que esta superficie pueda ser forzada más arriba del borde del molde de compactación durante el enrasado (nota 6).
- 7.4.4** Cada capa se compacta con 25 golpes cuando está en el molde de 101.6 mm (4") y con 56 golpes cuando está en el molde de 152.4 mm (6"). Siempre que se realicen pruebas de referencia, se usará el martillo de operación manual.
- 7.4.5** Al operar el martillo manual, se debe tener cuidado para evitar levantar la camisa guía durante la carrera ascendente del martillo. La

camisa se debe mantener verticalmente con firmeza, con una tolerancia de 5°. Los golpes se deben aplicar con una velocidad uniforme de 25 por minuto y cubriendo toda la superficie de la capa. Cuando se use el molde de 101.6 mm (4") con el martillo manual, se debe seguir el patrón de impactos mostrado en las Figuras 141 - 3a y 141 - 3b; mientras que si se usa el martillo de operación mecánica solo se seguirá el patrón de la Figura 141 - 3b, empleando el martillo de cara circular. Cuando se use el molde de 152.4 mm (6") con el martillo manual, se deberá seguir el patrón de la Figura 141 - 4 hasta aplicar el noveno golpe y luego sistemáticamente alrededor del molde (Figura 141 - 3b) y en el medio. Si se va a usar el martillo mecánico con este molde, se deberá usar el martillo con cara de sector circular, empleando el patrón de la Figura 141 - 3b; si la superficie del suelo compactado es muy irregular (Ver nota 6), el patrón se deberá cambiar por el de la Figura 141 - 3a o el de la Figura 141 - 4. Probablemente, esto invalide el uso del martillo mecánico en esos puntos de compactación.

*Nota 6: Cuando se compactan muestras con humedad por encima de la óptima, se pueden presentar superficies compactadas desniveladas y se requiere el juicio del operador para definir la altura de la muestra y patrón de impactos con el martillo.*

- 7.4.6** Terminada la compactación de la última capa, se remueven el collar y la placa de base del molde (excepto en el caso mencionado en el numeral 7.4.7). Se puede usar un cuchillo para desbastar el suelo adyacente al collar y ayudar a aflojarlo antes de removerlo, con el fin de evitar que la probeta compactada se rompa por debajo del borde superior del molde. Adicionalmente, para prevenir o reducir la adherencia del suelo al collar o a la placa de base, éstos se deben rotar cuidadosamente durante su remoción.

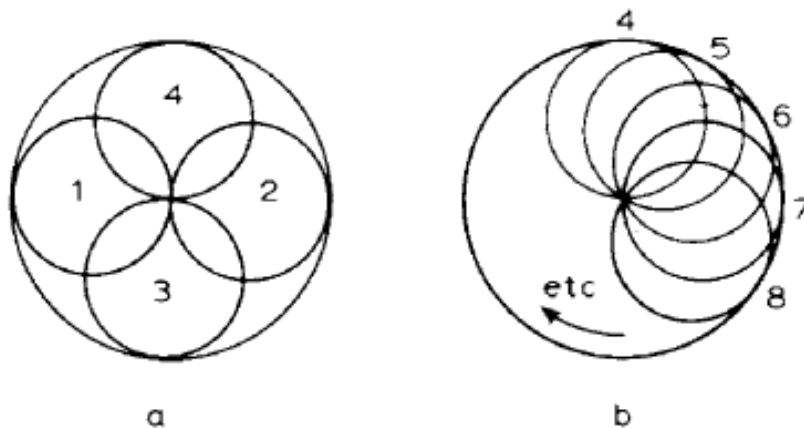


Figura 141 - 3. Patrón de impactos para la compactación en el molde de 101.6 mm (4")

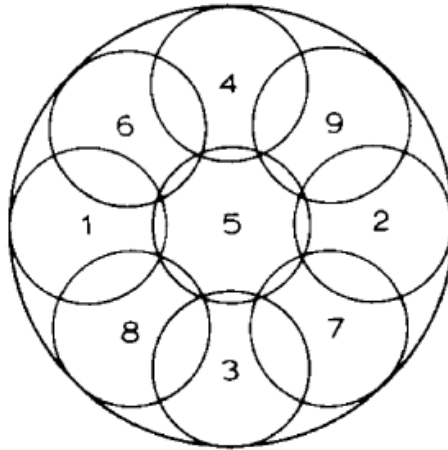


Figura 141 - 4. Patrón de impactos para la compactación en el molde de 152.4 mm (6")

**7.4.7** La probeta compactada se enrasa cuidadosamente con el borde superior del molde, empleando la regla metálica dispuesta para tal fin (Figura 141 - 5). Al comienzo, se puede emplear el cuchillo para remover el exceso de suelo en parte superior de la probeta, para evitar que la regla la desgarre por debajo del borde superior del molde. Los pequeños orificios que queden en la superficie de la probeta se deberán rellenar con suelo no usado o desbastado de la muestra, presionándolo con los dedos (Figura 141 - 6) y pasando nuevamente la regla a ras con el borde del molde. Si se encuentran partículas del tamaño de la grava, se debe escarificar alrededor de ellas o removerlas directamente, lo que resulte más cómodo y reduzca la alteración del suelo compactado, rellenando los vacíos como se acaba de indicar. De las operaciones recién descritas se repiten las que sean necesarias en la parte inferior de la probeta, cuando el volumen del molde se haya determinado sin que la placa de base estuviera colocada. Para suelos muy secos o muy húmedos, se puede perder suelo o agua, respectivamente, al remover la placa de base. Para estas situaciones, se debe dejar la placa de base atornillada al molde. Cuando la placa de base se deja adjunta al molde, el volumen de éste se debe calibrar con ella puesta, en lugar de emplear una placa de vidrio o plástico, como se describe en el numeral A.1.4 del Anexo A.



Figura 141 - 5. Enrase de la probeta



Figura 141 - 6. Relleno de pequeños vacíos superficiales

- 7.4.8** Se determina y anota la masa del molde con la probeta compactada, con aproximación de 1 g. Cuando la placa de base se deja puesta con el molde, se debe determinar su masa junto con la del molde y la de la probeta compactada.
- 7.4.9** Se extrae del molde la probeta compactada. Se obtiene una muestra de ella para determinar la humedad, sea tomando el total de la muestra (método preferido) o una porción de ella. Cuando se utilice el total de la muestra, ésta se deberá desmenuzar para facilitar el secado. En el otro caso, se obtiene una porción representativa de las tres capas, removiendo suficiente material de la probeta para reportar el contenido de agua al 0.1 %. La masa de la porción representativa de suelo deberá estar de acuerdo con los requisitos indicados en la Tabla

141 - 1, método B de la norma INV E-122. El contenido de agua de moldeo de la probeta se deberá determinar con la misma norma.

- 7.5** Luego de la compactación de la última probeta, se comparan los pesos unitarios húmedos de todas, para asegurar que hay datos a ambos lados de la humedad óptima, que permitan la elaboración de la curva de compactación. Dibujando los puntos que representan el peso unitario húmedo de cada probeta con su respectiva humedad de moldeo, se puede realizar esta evaluación. Si no se encuentra la tendencia esperada, será necesario compactar una o más probetas adicionales con otros contenidos de agua. Para personas con experiencia en el dibujo de curvas de compactación, un punto de compactación del lado húmedo (humedad mayor que la óptima) es suficiente para definir el máximo peso unitario húmedo (ver numeral 8.2).

## 8 CÁLCULOS

- 8.1** *Porcentajes de las fracciones* – Si no se dispone de los datos de granulometría de la muestra, la masa seca de la fracción de ensayo, y las fracciones gruesa y de ensayo se determinan como se muestra a continuación, a partir de los datos de los numerales 7.2 o 7.3:

- 8.1.1** *Masa seca de la fracción de ensayo ( $M_{SFE}$ ):*

$$M_{SFE} = \frac{M_{HFE}}{1 + \frac{W_{FE}}{100}} \quad [141.1]$$

Donde:  $M_{HFE}$ : Masa húmeda de la fracción de ensayo, aproximada a 1 g;

$w_{FE}$ : Humedad de la fracción de ensayo, aproximada a 0.1 %.

- 8.1.2** *Porcentaje de la fracción gruesa ( $P_{FG}$ ):*

$$P_{FG} = \frac{M_{SFC}}{M_{SFC} + M_{SFE}} \times 100 \quad [141.2]$$

Donde:  $M_{SFC}$ : Masa seca de la fracción gruesa, aproximada a 1 g.

- 8.1.3** *Porcentaje de la fracción de ensayo ( $P_{FE}$ ):*

$$P_{FE} = 100 - P_{FG} \quad [141.3]$$

**8.2 Humedades, densidades y pesos unitarios de las probetas compactadas (sub-muestras):****8.2.1 Humedad de moldeo de cada probeta** – Se calcula cada humedad (w), aproximada a 0.1 %, de acuerdo con la norma INV E-122.**8.2.2 Densidad húmeda de cada sub-muestra ( $\rho_H$ ):**

$$\rho_H = K \times \frac{M_T - M_{MD}}{V} \quad [141.4]$$

Donde:  $\rho_H$ : Densidad húmeda de la sub-muestra compactada (punto de compactación), con 4 dígitos significativos, g/cm<sup>3</sup> o kg/m<sup>3</sup>;

$M_T$ : Masa del suelo húmedo dentro del molde, aproximada a 1 g;

$M_{MD}$ : Masa del molde compactación, aproximada a 1 g;

V: Volumen del molde, cm<sup>3</sup> o m<sup>3</sup> (Ver Anexo A);

K: Constante de conversión que depende de las unidades de densidad y de volumen:

Usar 1, para g/cm<sup>3</sup> y volumen en cm<sup>3</sup>

Usar 1000 para g/cm<sup>3</sup> y volumen en m<sup>3</sup>

Usar 0.001 para kg/cm<sup>3</sup> y volumen en m<sup>3</sup>

Usar 1000 para kg/m<sup>3</sup> y volumen en cm<sup>3</sup>

**8.2.3 Densidad seca de cada sub-muestra ( $\rho_d$ ):**

$$\rho_d = \frac{\rho_H}{1 + \frac{w}{100}} \quad [141.5]$$

**8.2.4 Peso unitario seco de cada sub-muestra ( $\gamma_d$ ):**

$$\gamma_d = K_1 \times \rho_d \quad \left[ \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \right] \quad [141.6]$$



$$\gamma_d = K_2 \times \rho_d \left[ \frac{\text{lbf}}{\text{pie}^3} \right] \quad [141.7]$$

- $\gamma_d$ : Peso unitario seco, aproximado a 0.01 kN/m<sup>3</sup> (0.1 lbf/pie<sup>3</sup>);
- $K_1$ : Constante de conversión (9.8066 para densidad en g/cm<sup>3</sup>; 0.0098066 para densidad en kg/m<sup>3</sup>);
- $K_2$ : Constante de conversión (62.428 para densidad en g/cm<sup>3</sup>; 0.062428 para densidad en kg/m<sup>3</sup>).

### 8.3 Curva de compactación:

- 8.3.1** Con los valores de la humedad de moldeo (numeral 8.2.1) y de peso unitario seco (numeral 8.2.4) de cada sub-muestra, se dibuja la curva de compactación (curva inferior de la Figura 141 - 7). El contenido de humedad que corresponda al punto más alto de la curva, se llamará "humedad óptima" (aproximada a 0.1 %), mientras que el peso unitario seco correspondiente al contenido óptimo de humedad, se denomina "peso unitario seco máximo" (aproximado a 0.02 kN/m<sup>3</sup> o 0.1 lbf/pie<sup>3</sup>).

*Nota 7: Con fines únicamente de comparación, en la parte superior de la Figura 141 - 7 se incluye la relación entre las humedades de moldeo (numeral 8.2.1) y los pesos unitarios húmedos. Estos últimos se obtienen multiplicando cada densidad húmeda (numeral 8.2.2) por las constantes  $K_1$  o  $K_2$ , dependiendo del sistema de unidades que se esté utilizando.*

- 8.3.2** Si se removi6 más de 5% de la muestra de ensayo a causa de la existencia de sobretamaños (fracción gruesa), los valores de humedad óptima y de peso unitario seco máximo se deberán corregir de acuerdo con la norma INV E-143.

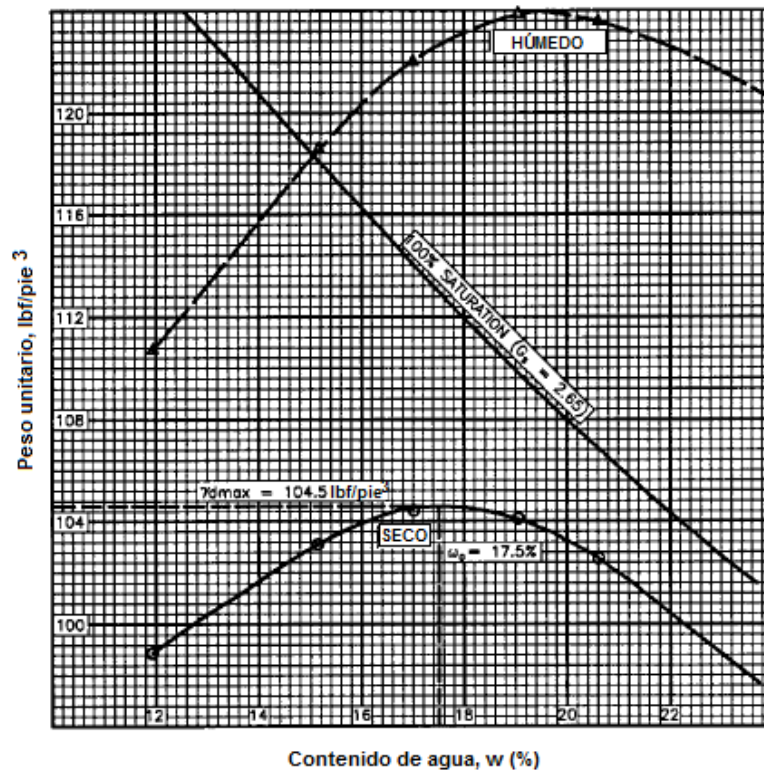


Figura 141 - 7. Ejemplo de dibujo de curva de compactación

**8.3.3** Al dibujar la curva de compactación, las escalas se deben escoger de manera que su sensibilidad permanezca constante; es decir, que el cambio en humedad de moldeo o en peso unitario seco por división sea constante entre dibujos. Típicamente, el cambio de peso unitario seco por división es el doble que el de humedad de moldeo (2 lbf/pie<sup>3</sup> por 1 % de agua, por cada división mayor). De esta manera, cualquier cambio en la forma de la curva de compactación es el resultado del ensayo de un material diferente y no de la escala escogida para el dibujo. Sin embargo, se debe usar una escala 1:1 cuando la curva de compactación es relativamente plana (Ver numeral 7.2.1), tal el caso de los suelos muy plásticos o muy permeables.

**8.3.3.1** En su rama húmeda (humedad de moldeo mayor que la humedad óptima), la curva de compactación sigue la forma de la curva de saturación (Ver numeral 8.4).

**8.4** *Curva de saturación* – Se dibuja la curva de saturación (0 % de vacíos con aire), a partir de la gravedad específica medida (normas INV E-128, INV E-222 o INV E-223; o todas ellas de ser necesario) o estimada. Los puntos para dibujar esta

curva se obtienen eligiendo valores del peso unitario seco y calculando la respectiva humedad de saturación, con la expresión:

$$w_{\text{sat}} = \frac{(\gamma_w)(G_s) - \gamma_d}{(\gamma_d)(G_s)} \times 100 \quad [141.8]$$

- Donde:  $\gamma_w$ : Peso unitario del agua a 20° C (9.789 kN/m<sup>3</sup> o 62.32 lbf/pie<sup>3</sup>);
- $\gamma_d$ : Peso unitario seco del suelo con tres dígitos significativos, kN/m<sup>3</sup> o lbf/pie<sup>3</sup>;
- $G_s$ : Gravedad específica del suelo, aproximada a 0.01.

*Nota 8: La curva de saturación ayuda al dibujo de la curva de compactación. Para suelos que contienen más de 10% de finos y que se moldean con una humedad por encima de la óptima, la curva de compactación es más o menos paralela a la de saturación entre el 92 y el 95 % de saturación. Teóricamente, la curva de compactación no puede cortar la de saturación. Si lo hace, existe un error en la gravedad específica, en las medidas, en los cálculos, en el dibujo o en el ensayo mismo.*

## 9 INFORME

---

**9.1** El informe debe incluir:

- 9.1.1** El método empleado para la compactación (A, B o C).
- 9.1.2** El método de preparación de la muestra (vía seca o vía húmeda).
- 9.1.3** El valor de la gravedad específica, aproximado a 0.01.
- 9.1.4** El dibujo de las curvas de compactación y de saturación.
- 9.1.5** La humedad óptima, como porcentaje, aproximada a 0.1 %.
- 9.1.6** El peso unitario seco máximo, con aproximación a 0.01 kN/m<sup>3</sup> o 0.1 lbf/pie<sup>3</sup>.
- 9.1.7** Los porcentajes de la fracción gruesa ( $P_{FG}$ ) y de la fracción de ensayo ( $P_{FE}$ ), con aproximación a 1 %.
- 9.1.8** El tipo de martillo utilizado para la compactación.

## 10 PRECISIÓN Y SESGO

**10.1 Precisión** – Los criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados obtenidos con estos métodos de ensayo sobre los tres tipos de suelos, se presentan en las Tablas 141 - 3 y 141 - 4. Estos estimativos se basan en los resultados de un programa conducido por la ASTM, empleando el Método A y la preparación de muestras por vía seca. Los suelos empleados presentaron las siguientes características: (1) CH con 99 % de finos, LL = 60, IP = 39; (2) CL con 89 % de finos, LL = 33, IP = 13; (3) ML con 99 % de finos, LL = 27; IP = 4.

**10.2 Sesgo** – No hay valores de referencia aceptados para este método de ensayo y, por lo tanto, no se puede determinar el sesgo.

Tabla 141 - 3. Resumen de los resultados de ensayos sobre ensayos de laboratorio realizados por triplicado (Energía del ensayo normal de compactación)

NÚMERO DE LABORATORIOS QUE HICIERON ENSAYOS POR TRIPLICADO			PARÁMETRO MEDIDO	VALOR PROMEDIO			DESVIACIÓN ESTÁNDAR (1s)			RANGO ACEPTABLE ENTRE 2 RESULTADOS (d2s)		
Tipo de suelo												
CH	CL	ML		CH	CL	ML	CH	CL	ML	CH	CL	ML
Resultados de un solo operador (Repetibilidad en un laboratorio)												
11	12	11	$\gamma_{dm\acute{a}x}$ (lbf/pie <sup>3</sup> )	97.2	109.2	106.3	0.5	0.4	0.5	1.3	1.2	1.3
11	12	11	$w_o$ (%)	22.8	16.6	17.1	0.2	0.3	0.3	0.7	0.9	0.9
Resultados de varios laboratorios (Reproducibilidad entre laboratorios)												
11	12	11	$\gamma_{dm\acute{a}x}$ (lbf/pie <sup>3</sup> )	97.2	109.2	106.3	1.4	0.8	0.6	3.9	2.3	1.6
11	12	11	$w_o$ (%)	22.8	16.6	17.1	0.7	0.5	0.5	1.8	1.5	1.3

Tabla 141 - 4. Resumen de los resultados de los ensayos simples de cada laboratorio (Energía del ensayo normal de compactación)

NÚMERO DE LABORATORIOS			PARÁMETRO MEDIDO	VALOR PROMEDIO			DESVIACIÓN ESTÁNDAR (1s)			RANGO ACEPTABLE ENTRE 2 RESULTADOS (d2s)		
Tipo de suelo												
CH	CL	ML		CH	CL	ML	CH	CL	ML	CH	CL	ML
Resultados de varios laboratorios (Reproducibilidad entre laboratorios)												
26	26	25	$\gamma_{dm\acute{a}x}$ (lbf/pie <sup>3</sup> )	97.3	109.2	106.2	1.6	1.1	1.0	4.5	3.0	2.9
26	26	25	$w_o$ (%)	22.6	16.4	16.7	0.9	0.7	2.4	1.8	1.8	1.9

## 11 NORMAS DE REFERENCIA

---

ASTM D 698 – 07

### ANEXO A (Aplicación obligatoria)

#### DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL MOLDE DE COMPACTACIÓN

---

##### A.1 Objeto:

- A.1.1 Este anexo describe el procedimiento para determinar el volumen del molde compactación.
- A.1.2 El volumen se puede determinar de dos maneras: llenándolo con agua o mediante un método de medida lineal.
- A.1.3 El método que emplea el agua para el molde de 101.6 mm (4"), cuando se usa una balanza que da lecturas con aproximación a 1 g, no suministra cuatro dígitos significativos para su volumen, sino solamente tres. Esto limita las determinaciones de densidad y peso unitario a solo tres dígitos significativos. Para prevenir esa limitación, se ha ajustado el método de llenado con agua, respecto del presentado en versiones anteriores de la norma.

##### A.2 Equipo:

- A.2.1 Además del mencionado en la Sección 6 de esta norma, se requieren los siguientes elementos:
  - A.2.1.1 *Calibrador* – De dial o vernier, cuyo rango de lectura se encuentre al menos entre 0 y 150 mm (0 – 6") y con posibilidad de lectura de 0.02 mm (0.001").
  - A.2.1.2 *Micrómetro para medidas interiores (opcional)* – Con rango de medida de 50 a 300 mm (2 a 12") y con lectura a 0.02 mm (0.01") o mejor.
  - A.2.1.3 *Micrómetro para medidas de profundidad (opcional)* – Con rango de medida de 0 a 150 mm (0 a 6") y con lectura a 0.02 mm (0.01") o mejor.

**A.2.1.4** *Placas plásticas o de vidrio* – Dos placas cuadradas de unos 200 mm de lado y 6 mm de espesor (8×8×¼").

**A.2.1.5** *Termómetro* – U otro dispositivo para medir temperaturas a intervalos de 0.1° C.

**A.2.1.6** *Grasa de plomería* – O un sellante similar.

**A.2.1.7** *Elementos misceláneos* – Jeringa de bulbo, toalla, etc.

### **A.3** *Precauciones:*

**A.3.1** El procedimiento descrito en este Anexo se debe adelantar en un área aislada de corrientes de aire o de fluctuaciones extremas de temperatura.

### **A.4** *Procedimiento:*

#### **A.4.1** Método de llenado con agua:

**A.4.1.1** Se engrasa levemente el fondo del molde de compactación y se coloca éste sobre una de las placas de plástico o vidrio. Se engrasa también su borde superior. Se debe tener cuidado para no engrasar la parte interior del molde. Si es necesario el uso de la placa metálica del molde, se coloca el molde engrasado sobre placa y se asegura a ésta con los tornillos de mariposa.

**A.4.1.2** Se determina la masa del molde engrasado y las dos placas de vidrio o plástico, con aproximación a 1 g y se anota el valor ( $M_{MP}$ ). Si se está usando la placa metálica de base atornillada al molde, se determina el peso del molde con la base metálica y una de las placas de vidrio o plástico y se determina la masa del conjunto, con aproximación a 1 g.

**A.4.1.3** Se coloca el molde sobre una de las placas de vidrio o plástico (excepto si el molde tiene la base metálica) sobre un soporte firme y nivelada. A continuación, se llena con agua hasta su borde superior.

**A.4.1.4** Se desliza la otra placa de vidrio o plástico sobre la superficie del molde, de manera que éste permanezca completamente

lleno de agua y no haya burbujas de aire atrapadas. Se añade o remueve agua según sea necesario, empleando la jeringa de bulbo.

- A.4.1.5** Se seca cualquier resto de agua que haya en el exterior del molde o en las placas.
- A.4.1.6** Se determina la masa del molde más placas y agua, con aproximación a 1 g, y se anota el valor obtenido ( $M_{MP,W}$ ).
- A.4.1.7** Se determina la temperatura del agua que está dentro del molde, con aproximación a 0.1° C. A continuación, se determina la densidad del agua a esa temperatura, con ayuda de la tabla incluida en la norma INV E-128.
- A.4.1.8** Se calcula la masa de agua dentro del molde, sustrayendo el valor  $M_{MP}$  del valor  $M_{MP,W}$ .
- A.4.1.9** Se calcula y anota el volumen de agua, (con aproximación a 0.1 cm<sup>3</sup> si se ha usado el molde de 101.6 mm (4") o con aproximación a 1 cm<sup>3</sup> para el molde de 152.4 mm (6")), dividiendo la masa de agua (numeral A.4.1.8) por la densidad del agua (numeral A.4.1.7). Si se desea obtener el volumen en m<sup>3</sup>, el valor obtenido en cm<sup>3</sup> se debe multiplicar por 10<sup>-6</sup>.

#### **A.4.2** Método de medida lineal:

- A.4.2.1** Usando el calibrador vernier o el micrómetro para medidas interiores, se mide el diámetro interno del molde (DI) 6 veces en la parte superior y 6 veces en la parte inferior, tomando las medidas de manera equidistante alrededor de la circunferencia. Cada lectura se debe tomar con aproximación a 0.02 mm (0.001"). Se determina el diámetro promedio, ( $d_p$ ), con la misma aproximación. Se verifica que este valor se encuentre dentro de las tolerancias de diámetro y si no se encuentra, se deberá descartar el molde.
- A.4.2.2** Usando el calibrador vernier o el micrómetro para medidas de profundidad (preferible), se mide la altura del molde con la placa de base atornillada a su parte inferior. Se deben realizar tres medidas distribuidas de manera equidistante alrededor de la circunferencia del molde. Cada lectura se debe tomar

con aproximación a 0.02 mm (0.001"). Se determina la altura promedio del molde con la misma aproximación ( $h_p$ ). Se verifica que este valor se encuentre dentro de las tolerancias de altura y si no se encuentra, se deberá descartar el molde.

**A.4.2.3** Se calcula el volumen del molde por el método de medida lineal ( $V_L$ ), en  $\text{cm}^3$ , con cuatro dígitos significativos, con la expresión:

$$V_L = K_3 \frac{\pi \times h_p \times (d_p)^2}{4} \quad [141.9]$$

Donde:  $K_3$ : Constante para convertir medidas hechas en mm o en pulgadas:

Usar  $10^{-6}$ , si las medidas se tomaron en mm;

Usar 16.387, si las medidas se tomaron en pulgadas.

**A.4.2.4** Si se desea obtener el volumen en  $\text{m}^3$ , el valor obtenido en  $\text{cm}^3$  se debe multiplicar por  $10^{-6}$ .

#### **A.5** Comparación de resultados y volumen normalizado del molde:

**A.5.1** El volumen, calculado por cualquiera de los dos métodos, debe cumplir las tolerancias mencionadas en los numerales 6.1 y 6.2. Para convertir  $\text{cm}^3$  a  $\text{pies}^3$ , los primeros se deben dividir por 28 317 y el valor obtenido se debe aproximar al 0.0001  $\text{pie}^3$  más próximo.

**A.5.2** La diferencia entre los volúmenes determinados por los dos métodos no debe ser mayor de 0.5 % del valor nominal del molde.

**A.5.3** Si el valor de alguno de los valores calculados resulta sospechoso (o ambos), se deberán repetir las determinaciones.

**A.5.4** Si no se logra la concordancia aun después de realizar varios intentos, se puede concluir que el molde está deformado y se debe descartar.

**A.5.5** El volumen determinado por el método de llenado con agua o el promedio de los volúmenes hallados por los dos métodos, es el que se debe utilizar para calcular la densidad húmeda. Este valor debe tener cuatro dígitos significativos.



## RELACIONES HUMEDAD – PESO UNITARIO SECO EN LOS SUELOS (ENSAYO MODIFICADO DE COMPACTACIÓN)

INV E – 142 – 13

### 1 OBJETO

- 1.1** Los siguientes métodos de ensayo se emplean para determinar la relación entre la humedad y el peso unitario seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 101.6 o 152.4 mm (4 o 6") de diámetro, con un martillo de 44.48 N (10 lbf) que cae libremente desde una altura de 457.2 mm (18"), produciendo una energía de compactación aproximada de 2700 kN–m/m<sup>3</sup> (56 000 lbf–pie/pie<sup>3</sup>).
- 1.2** Estos métodos aplican solamente a suelos con 30% o menos de su masa con tamaño mayor a 19.0 mm y que no hayan sido compactados previamente; es decir, no se acepta la reutilización de un suelo compactado.
- 1.2.1** Para establecer relaciones entre pesos unitarios y humedades de moldeo de suelos con 30% o menos de su masa con tamaño mayor a 19.0 mm y pesos unitarios y humedades de la fracción que pasa el tamiz de 19.0 mm (3/4"), se deberá aplicar la corrección a la cual hace referencia la norma INV E–143.
- 1.3** Esta norma presenta tres alternativas para la ejecución del ensayo (Tabla 142 - 1). El método por utilizar deberá ser el indicado en la especificación para el material por ensayar. Si la especificación no indica un método, la elección se deberá realizar en función de la granulometría del material.

Tabla 142 - 1. Métodos para realizar el ensayo modificado de compactación

MÉTODO	A	B	C
DIÁMETRO DEL MOLDE	101.6 mm (4")	101.6 mm (4")	152.4 mm (6")
MATERIAL	Pasa tamiz de 4.75 mm (No. 4)	Pasa tamiz de 9.5 mm (3/8")	Pasa tamiz de 19.0 mm (3/4")
CAPAS	5	5	5

MÉTODO	A	B	C
GOLPES/CAPA	25	25	56
USO	Si 25 % o menos de la masa del material queda retenida en el tamiz de 4.75 mm (No. 4). Sin embargo, si en este tamiz queda retenida entre 5 y 25 % de la masa, se puede usar el Método A, pero se requerirá la corrección por sobretamaños (Ver numeral 1.4) y, en este caso, el uso del Método A no reportará ninguna ventaja	Si 25 % o menos de la masa del material queda retenida en el tamiz de 9.5 mm (3/8"). Sin embargo, si en este tamiz queda retenida entre 5 y 25 % de la masa, se puede usar el Método B, pero se requerirá la corrección por sobretamaños (Ver numeral 1.4). En este caso, la única ventaja de usar el Método B en lugar del Método C, es que se necesita menos cantidad de muestra y el molde pequeño es más fácil de usar	Si 30 % o menos de la masa del material queda retenida en el tamiz de 19.0 mm (3/4") (Ver numeral 1.4)
OTRO USO	Si este requisito de granulometría no se puede cumplir, se deben usar los Métodos B o C	Si este requisito de granulometría no se puede cumplir, se debe usar el Método C	

**1.3.1** El molde de 152.4 mm (6") de diámetro no se debe usar con los métodos A o B.

*Nota 1: Se ha encontrado que los resultados varían ligeramente cuando el material se compacta con la misma energía en moldes de diferente tamaño, obteniéndose los mayores valores cuando se emplea el molde pequeño.*

- 1.4** Si la muestra de ensayo contiene más de 5 %, en masa, de sobretamaños (fracción gruesa) y este material no se va a incluir en el ensayo, se deberán corregir el peso unitario y el contenido de agua de moldeo de la muestra de laboratorio o el peso unitario del espécimen del ensayo de densidad en el terreno, empleando la norma INV E-143.
- 1.5** Este método produce una curva de compactación con un peso unitario seco máximo bien definido, cuando se ensayan suelos que no presentan drenaje libre. Si el suelo presenta drenaje libre, el peso unitario seco máximo no se puede definir con precisión.

1.6 Esta norma reemplaza la norma INV E-142-07.

## 2 DEFINICIONES

---

- 2.1 *Humedad de moldeo* – Contenido de agua con el cual se prepara una muestra para someterla a compactación.
- 2.2 *Energía del ensayo modificado de compactación* – 2700 kN-m/m<sup>3</sup> (56 000 lbf-pie/pie<sup>3</sup>), aplicada con el equipo y procedimiento descritos en esta norma.
- 2.3 *Peso unitario seco máximo del ensayo modificado de compactación ( $\gamma_{d, \text{máx}}$ )* – El máximo valor definido en la curva de compactación obtenida como resultado del ensayo realizado con la energía indicada en el numeral 2.2.
- 2.4 *Humedad óptima del ensayo modificado de compactación ( $w_{\text{opt}}$ )* – La humedad de moldeo con la cual el suelo alcanza el peso unitario seco máximo usando la energía normalizada.
- 2.5 *Sobretamaños (fracción gruesa) ( $P_{FG}$ )* – Porción de la muestra total que no se utiliza en la prueba de compactación. Es la retenida en el tamiz de 4.75 mm (No. 4) cuando se utiliza el Método A; la retenida en el tamiz de 9.5 mm (3/8") cuando se emplea el Método B, o la retenida en el tamiz de 19.0 mm (3/4") cuando se emplea el Método C.
- 2.6 *Fracción de ensayo (fracción fina) ( $P_{FE}$ )* – La porción de la muestra total que se emplea en el ensayo de compactación. Corresponde al material que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4) cuando se utiliza el Método A; al pasante por el tamiz de 9.5 mm (3/8") cuando se emplea el Método B, o al pasante por el tamiz de 19.0 mm (3/4") cuando se emplea el Método C.

## 3 RESUMEN DEL MÉTODO

---

- 3.1 Una muestra de suelo con una humedad de moldeo seleccionada, se coloca en cinco capas dentro de un molde, sometiéndolo a 25 o 56 golpes de un martillo de 44.48 N (10 lbf) que cae desde una altura de 457.2 mm (18"), produciendo una energía de compactación aproximada de 2700 kN-m/m<sup>3</sup> (56 000 lbf-pie/pie<sup>3</sup>). Se determina el peso unitario seco resultante. El procedimiento se repite con un número suficiente de humedades de moldeo, para establecer una curva que relacione a éstas con los respectivos pesos

unitarios secos obtenidos. Esta curva se llama curva de compactación y su vértice determina la humedad óptima y el peso unitario seco máximo, para el ensayo normal de compactación.

## 4 IMPORTANCIA Y USO

---

- 4.1** Los suelos y mezclas de suelo-agregado usados como relleno en obras de ingeniería se compactan a cierto nivel, con el fin de lograr un comportamiento satisfactorio en términos de su resistencia al corte, su compresibilidad o su permeabilidad. Así mismo, los suelos de fundación se compactan a menudo para mejorar sus propiedades de ingeniería. Los ensayos de compactación en el laboratorio suministran la base para determinar el porcentaje de compactación y la humedad de moldeo necesaria para que el suelo alcance el comportamiento requerido.

*Nota 2: Las especificaciones de construcción de carreteras suelen exigir un grado de compactación del suelo en el terreno, expresado como un porcentaje del peso unitario seco máximo obtenido en el ensayo modificado de compactación, realizado de acuerdo con esta norma. Si en algún caso el porcentaje de compactación exigido es muy bajo, posiblemente resulte más conveniente especificarlo en relación con el peso unitario seco máximo obtenido en el ensayo normal de compactación. El ensayo modificado da lugar a un suelo compactado con mayor peso unitario seco, con menor humedad óptima, mayor resistencia al corte, mayor rigidez, menor permeabilidad y menor compresibilidad que el ensayo normal de compactación. Sin embargo, si un suelo fino se compacta con una energía muy alta, puede sufrir expansiones importantes cuando absorbe agua, perdiendo su resistencia e incrementando su compresibilidad, con lo que se reducen los beneficios del incremento de la energía de compactación durante la etapa constructiva. El empleo de la norma INV E-141 como referencia, permite una menor energía de compactación y da lugar a humedades óptimas mayores. De esta manera, el suelo puede ser menos friable, más flexible, más permeable y menos propenso a la expansión y la contracción.*

- 4.2** Durante el diseño de una obra de ingeniería, algunos ensayos requieren la preparación de muestras de prueba con determinada humedad y con un peso unitario establecido. Constituye una práctica común determinar primero la humedad óptima y el peso unitario seco máximo a través de un ensayo de compactación. Posteriormente, se elaboran los especímenes de ensayo para el diseño específico, empleando humedades por encima o por debajo de la óptima y pesos unitarios secos expresados como un porcentaje del máximo. La selección de estas humedades y estos pesos unitarios se debe basar en la experiencia del profesional o, de lo contrario, conviene hacer una investigación dentro de unos rangos de valores, para establecer el porcentaje de compactación apropiado.
- 4.3** La experiencia indica que los procedimientos descritos en el numeral 4.2 o los controles de construcción mencionados en el numeral 4.1 son muy difíciles de implementar o producen resultados erróneos cuando se trata con determinados suelos. Los numerales 4.3.1 a 4.3.3 describen algunos casos problemáticos típicos.

**4.3.1** *Presencia de partículas mayores de ¾"* - Los suelos que contienen más de 30 % de partículas superiores a 19 mm (¾") constituyen un problema. Para tales suelos no existe norma de ensayo INV para determinar sus condiciones de compactación en el laboratorio. La antigua práctica de reemplazar la fracción de tamaño mayor por otra más fina ha demostrado ser inapropiada para determinar el peso unitario seco máximo y la humedad óptima de suelos que contengan estas partículas de mayor tamaño.

**4.3.1.1** Un método para diseñar y controlar la compactación de estos suelos consiste en el uso de un relleno de prueba para determinar el grado requerido de compactación y el método para obtenerla, seguido por el establecimiento de una especificación de método para controlar la compactación. Una especificación de método contiene, típicamente, el tipo y tamaño del equipo de compactación por usar, el espesor de la capa, el rango aceptable en el contenido de agua y el número de pasadas. El éxito en la aplicación de una especificación de este tipo depende, en gran medida, de la calificación y la experiencia del constructor y del interventor.

**4.3.1.2** Otro método consiste en aplicar los factores de corrección desarrollados por el USDI Bureau of Reclamation (Ver notas 2 y 3 de la norma INV E-141) y el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de USA (Ver nota 4 de la norma INV E-141). Estos factores de corrección se pueden aplicar a suelos con una proporción de sobretamaños hasta de 50 y 70 %. Cada agencia aplica un término diferente para estos factores de corrección de densidad. El USDI Bureau of Reclamation usa un valor D, mientras el Cuerpo de Ingenieros usa un coeficiente de interferencia de densidad (Ic).

**4.3.2** *Degradación* – Los suelos que contiene partículas que se degradan durante la compactación constituyen un problema, en especial en el caso frecuente de que la degradación sea mayor en el laboratorio que en el terreno. Es típica la ocurrencia de la degradación cuando se compacta un material granular residual. La degradación hace que el peso unitario seco máximo de laboratorio se incremente, lo que hace que el valor obtenido en el laboratorio no sea representativo de las condiciones de campo. En estos casos, es muy frecuente que resulte imposible alcanzar en el terreno el máximo peso unitario seco.

**4.3.3** *Gradación discontinua* – Los suelos que contienen bastantes partículas grandes y pocas pequeñas son un problema, por cuanto el suelo compactado contendrá más vacíos de lo usual. Para manejar estos elevados volúmenes de vacíos, los métodos tradicionales de laboratorio y de campo han venido siendo modificados aplicando el juicio ingenieril.

## 5 EQUIPO

---

**5.1** *Moldes* – Los moldes deberán ser cilíndricos, de paredes sólidas, fabricados con metal, y con las dimensiones y capacidades mostradas más adelante. Deberán tener collares ajustables de aproximadamente 60 mm (2.373") de altura, que permitan la preparación de muestras compactadas de mezclas de suelo con agua con la altura y el volumen deseados. El conjunto de molde y collar deberá estar construido de tal manera que se pueda encajar firmemente en una placa de base hecha del mismo material.

**5.1.1** *Molde de 101.6 mm (4")* – Con una capacidad de  $943 \pm 14 \text{ cm}^3$  ( $1/30 \pm 0.0005 \text{ pie}^3$ ), con un diámetro interior de  $101.6 \pm 0.4 \text{ mm}$  ( $4.000 \pm 0.016$ ") y una altura de  $116.4 \pm 0.5 \text{ mm}$  ( $4.584 \pm 0.018$ ") (ver Figura 142 - 1).

**5.1.2** *Molde de 152.4 mm (6")* – Con una capacidad de  $2124 \pm 25 \text{ cm}^3$  (equivalente a  $1/13.33 \pm 0.0009 \text{ pie}^3$ ), con un diámetro interior de  $152.4 \pm 0.7 \text{ mm}$  ( $6 \pm 0.026$ ") y una altura de  $116.4 \pm 0.5 \text{ mm}$  ( $4.584 \pm 0.018$ ") (ver Figura 142 - 2).

**5.2** *Martillo metálico* – Puede ser de operación manual (numeral 5.2.1) o mecánica (numeral 5.2.2), con una masa de  $4.5364 \pm 0.009 \text{ kg}$  ( $10 \pm 0.02 \text{ lb}$ ), que tenga una cara plana circular (excepto lo anotado en el numeral 5.2.2.1), de diámetro de  $50.80 \pm 0.13 \text{ mm}$  ( $2.000 \pm 0.005$ "). El diámetro real de servicio no podrá ser menor de  $50.42 \text{ mm}$  ( $1.985$ "). El martillo deberá estar provisto de una camisa guía apropiada que controle la altura de la caída del golpe desde una altura libre de  $457.2 \pm 1.3 \text{ mm}$  ( $18.00 \pm 0.05$ ") por encima de la altura del suelo. El martillo se deberá reemplazar si la cara de golpeo se desgasta o se acampana de manera que su diámetro se salga del rango  $50.80 \pm 0.25 \text{ mm}$  ( $2.000 \pm 0.01$ ").

**5.2.1** *Martillo de operación manual* – Deberá estar provisto de una camisa guía apropiada, que brinde una luz suficiente para que la caída del

martillo y la cabeza no tengan restricciones. La camisa guía deberá tener, al menos, 4 agujeros de ventilación en cada extremo (8 en total), ubicados a  $19 \pm 2$  mm ( $3/4 \pm 3/16$ ") del extremo, espaciados aproximadamente a  $90^\circ$  (1.57 rad). El diámetro mínimo de los orificios de ventilación debe ser de 9.5 mm ( $3/8$ "). De ser necesario, se pueden incorporar agujeros adicionales o ranuras en la camisa del martillo.

**5.2.2** *Martillo con cara circular, de operación mecánica* – Debe operar de manera que proporcione a la muestra un cubrimiento uniforme y completo. Deberá quedar una luz libre de  $2.5 \pm 0.8$  mm ( $0.10 \pm 0.03$ ") entre el martillo y la superficie interior del molde de ensayo de menor dimensión. El martillo disponer de algún medio mecánico que lo soporte mientras no está en operación.

**5.2.2.1** *Martillo de cara de sector circular, de operación mecánica* – Se puede usar con el molde de 152.4 mm (6") de diámetro en lugar del martillo de cara circular. Su cara de compactación debe tener la forma de un sector de círculo de radio igual a  $73.7 \pm 0.5$  mm ( $2.90 \pm 0.02$ ") y un área aproximadamente igual a la del de cara circular (Ver numeral 5.2). El martillo debe operar de manera que el vértice del sector circular quede posicionado en el centro de la muestra de ensayo.

**5.3** *Extractor de muestras (opcional)* – Un gato con marco u otro dispositivo adecuado para extraer las muestras compactadas de los moldes.

**5.4** *Balanzas* – Una de 11.5 kg de capacidad y aproximación de lectura de 1 g, cuando se use para pesar moldes de 152.4 mm (6") con suelos húmedos compactados; cuando se emplee el molde de 101.6 mm (4"), se puede usar una balanza de menor capacidad, si su aproximación de lectura es de 1 g. También, se requiere otra balanza de 1 kg de capacidad con legibilidad de 0.1 g para las determinaciones de humedad.

**5.5** *Horno* – Termostáticamente controlado, capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5^\circ$  C ( $230 + 9^\circ$  F), para el secado de las muestras.

**5.6** *Regla metálica* – De acero endurecido, de borde recto, al menos de 250 mm (10") de largo. El borde de corte y enrasado deberá ser biselado, si tiene más de 3 mm ( $1/8$ ") de espesor. La regla no deberá ser tan flexible que cuando se enrase el suelo con el borde cortante, proporcione una superficie cóncava en la superficie de la muestra.

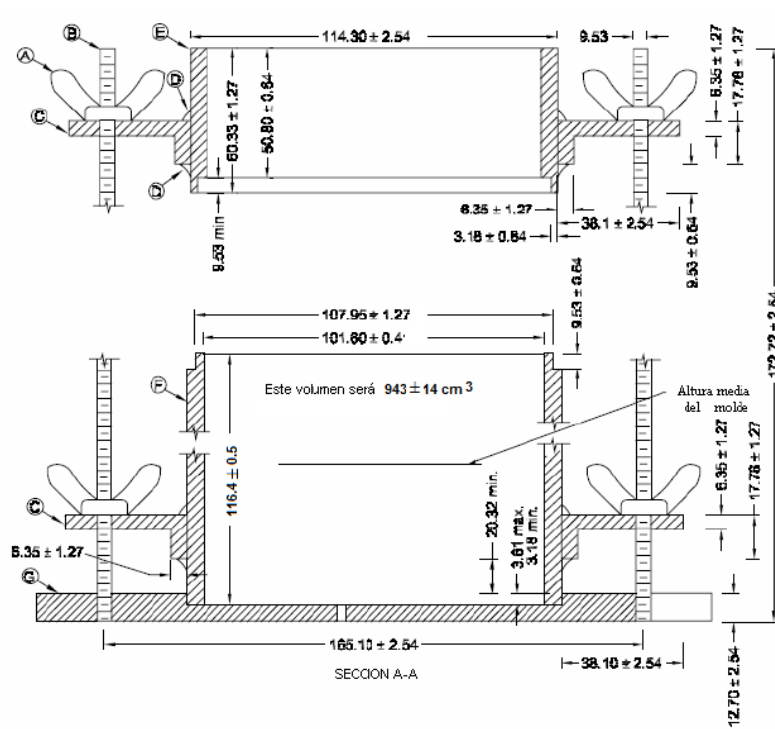
- 5.7** *Tamices* – De 19.0, 9.5 y 4.75 mm (3/4", 3/8" y No. 4).
- 5.8** *Herramientas misceláneas* – Tales como cazuelas para mezclado, espátulas, etc., o un dispositivo mecánico adecuado para mezclar las muestras de suelo con diversas cantidades de agua.
- 5.9** *Recipientes* – Para determinar la humedad de las muestras, elaborados en metal u otro material adecuado, con cierres que ajusten herméticamente para evitar la pérdida de humedad durante el pesaje.

## 6 MUESTRA DE ENSAYO

---

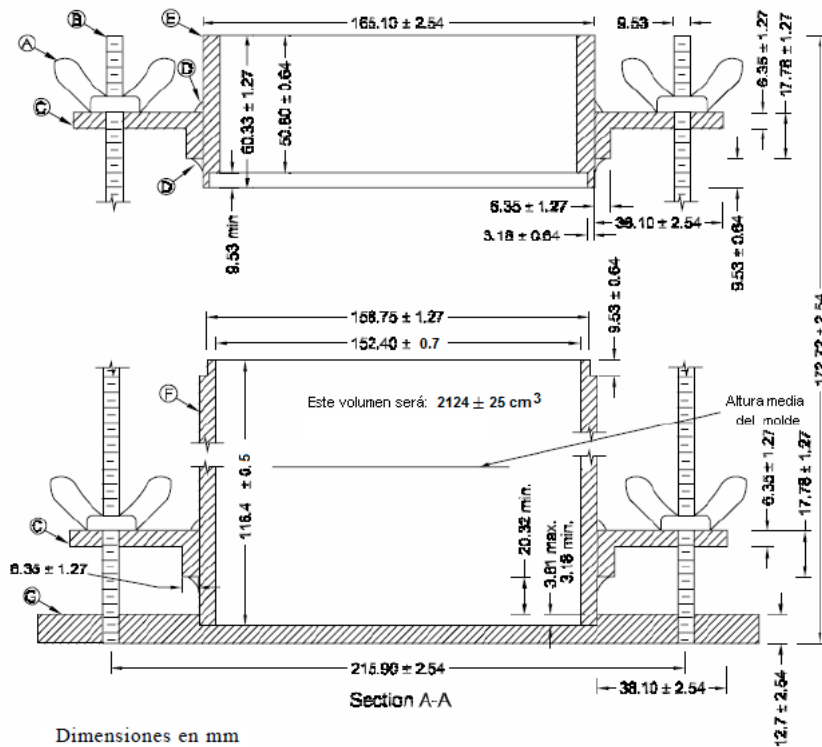
- 6.1** La cantidad mínima de muestra para un ensayo completo empleando los Métodos A o B es de unos 16 kg, y para el Método C de 29 kg. Por lo tanto, la muestra de campo debería tener una masa húmeda de, al menos, 23 kg y 45 kg, respectivamente. Se pueden requerir masas mayores si la muestra contiene sobretamaños o si es necesario elaborar puntos de compactación adicionales.
- 6.2** Si no se dispone de los datos de granulometría de la muestra, se estiman las proporciones de material retenido en el tamiz de 4.75 mm (No. 4) cuando se utiliza el Método A; en el tamiz de 9.5 mm (3/8") cuando se emplea el Método B, o en el tamiz de 19.0 mm (3/4") cuando se emplea el Método C. Si se considera que el porcentaje retenido está muy cerca del límite admitido por el método de compactación que se va a utilizar, entonces se escoge alguna de las siguientes tres opciones:
- 6.2.1** Se elige un método que permita un mayor porcentaje retenido (por ejemplo, el B o el C, si inicialmente se pretende utilizar el A).
- 6.2.2** Usando el método de interés, se procesa la muestra como se indica en los numerales 7.2 o 7.3, con lo que se determina al porcentaje retenido para dicho método. Si resulta aceptable, se procede; en caso contrario, se va al método siguiente (B o C).
- 6.2.3** Se determinan los valores de los porcentajes retenidos usando una porción representativa de la muestra y empleando la norma de ensayo INV E-213. Solamente se necesita determinar los porcentajes retenidos en el tamiz o tamices deseados.





Dimensiones en mm

Figura 142 - 1. Molde cilíndrico de 101.6 mm (4.0") para ensayos de suelos



Dimensiones en mm

Figura 142 - 2. Molde cilíndrico de 152.4 mm (6.0") para ensayos de suelos

## 7 PROCEDIMIENTO

---

### 7.1 Suelos:

- 7.1.1 No se pueden utilizar muestras de suelo previamente compactadas en el laboratorio. Ello daría como resultado valores mayores de peso unitario seco máximo.
- 7.1.2 Cuando se use este método con suelos que contengan haloisita hidratada, o en los cuales la experiencia indica que los resultados se pueden ver afectados por el secado al aire de las muestras, se deberá emplear el método de preparación por vía húmeda (Ver numeral 7.2). En ensayos de referencia, cada laboratorio debe utilizar el mismo método de preparación, sea por vía húmeda (el preferido), sea por vía seca.
- 7.1.3 Se preparan las muestras para ensayo de acuerdo con el numeral 7.2 (preferido) o con el numeral 7.3.

**7.2 Preparación por vía húmeda (preferida)** – Sin secado previo de la muestra, se procesa ésta sobre un tamiz de 4.75 mm (No. 4), de 9.5 mm (3/8") o de 19.0 mm (¾"), dependiendo del Método (A, B o C) a ser usado o requerido, de acuerdo con lo citado en el numeral 6.2. Se determinan y registran las masas de los materiales pasante y retenido en ese tamiz (fracción de ensayo y fracción gruesa, respectivamente). Se seca en el horno la fracción gruesa y se determina y registra su masa con aproximación a 1 g. Si resulta que más del 0.5 % de la masa seca total de la muestra está adherida a la fracción gruesa, se deberá lavar esta fracción. Luego, se determina y registra su masa seca, con aproximación a 1 g. Se determina y registra la humedad de la fracción de ensayo (fracción fina). Usando esta humedad, se determina y anota la masa seca al horno de esta fracción, con aproximación a 1 g. Con base en estas masas secas, se determina el porcentaje de la fracción con sobretamaños,  $P_{FG}$ , y el porcentaje de la fracción de ensayo,  $P_{FE}$ , a menos que se haya realizado previamente el ensayo de granulometría completo (Ver Sección 8 para los cálculos).

- 7.2.1 Se seleccionan y preparan al menos cuatro (preferiblemente cinco) sub-muestras de la fracción de ensayo, con humedades que abarquen la humedad óptima estimada. En primer lugar, se prepara una sub-muestra con una humedad cercana a la que se cree que es la óptima (nota 3). Luego se eligen las humedades para las otras sub-muestras, con variaciones de 2 % y buscando que dos de ellas sean superiores a

la óptima y dos inferiores a ella. Ser requieren al menos dos humedades a cada lado de la óptima, para definir correctamente la curva de compactación (Ver numeral 7.5). Algunos suelos cuya humedad óptima es muy elevada o cuya curva de compactación es muy plana, requieren incrementos mayores en el contenido de agua para preparar las sub-muestras. En todo caso, ellos no deben exceder de 4 %.

*Nota 3: Con práctica, es posible juzgar visualmente un punto de humedad cercano al óptimo. Típicamente, cuando los suelos cohesivos tienen la humedad óptima se pueden apretar formando un terrón que no se separa cuando se libera la presión de la mano, pero que se rompe limpiamente en dos secciones cuando se dobla. Estos suelos tienden a desmenuzarse cuando su humedad está por debajo de la óptima, mientras que tienden a mantenerse en una masa pegajosa cuando su humedad es mayor que la óptima. Su contenido óptimo de agua es, típicamente, algo menor que el límite plástico. Por el contrario, el contenido óptimo de los suelos sin cohesión es cercano a cero o al punto donde aflora el agua a la superficie del terrón.*

- 7.2.2** Se mezcla completamente la fracción de ensayo (fracción fina), y luego se selecciona con una cuchara una porción representativa para constituir cada sub-muestra (punto de compactación). Se deben seleccionar por sub-muestra más o menos 2.3 kg cuando se usen los Métodos A o B, o unos 5.9 kg para el Método C. Para obtener las humedades de moldeo mencionadas en el numeral 8.2.1 se debe añadir o remover agua de la siguiente manera: (1) para añadir agua, se la atomiza durante la operación de mezclado y (2) para remover, se permite que el suelo se seque a la temperatura ambiente o en un aparato que no lleve la temperatura más allá de 60° C (140° F). Mezclar frecuentemente el suelo durante el secado facilita que el agua se distribuya de manera uniforme. Una vez que cada sub-muestra tenga la humedad apropiada, se coloca dentro de un recipiente con tapa, para someterla a un período de curado previo a la compactación, de acuerdo con la Tabla 142 - 2.

Tabla 142 - 2. Tiempo requerido de curado para las sub-muestras húmedas

CLASIFICACIÓN DEL SUELO	TIEMPO DE CURADO (h)
GW, GP, SW, SP	No requiere
SW, SP	3
Todos los demás suelos	16

- 7.3** *Preparación por vía seca* – Si la muestra se encuentra muy húmeda para ser desmenuzada, se reduce su contenido de agua secándola al aire hasta volverla

friable. El secado también se puede realizar en un aparato que no lleve la temperatura más allá de 60° C (140° F). Se desintegran totalmente las agregaciones, sin romper partículas individuales. Se procesa el material sobre el tamiz apropiado, de acuerdo con el método de ensayo elegido. Cuando se prepare material pasante por el tamiz de 19.0 mm ( $\frac{3}{4}$ " ) para compactarlo en el molde de 15.4 mm (6"), las agregaciones se deben romper lo suficiente para que pasen el tamiz de 9.5 mm ( $\frac{3}{8}$ " ), con el fin de facilitar la distribución completa del agua durante el mezclado posterior. Se determina y anota el contenido de agua de la fracción de ensayo, así como todas las masas citadas en el numeral 8.2, para determinar el porcentaje de la fracción con sobretamaños,  $P_{FG}$ , y el porcentaje de la fracción de ensayo,  $P_{FE}$ .

**7.3.1** Se seleccionan y preparan al menos cuatro (preferiblemente cinco) sub-muestras de la fracción de ensayo, de la manera descrita en los numerales 7.2.1 y 7.2.2, con la diferencia de que se debe usar un cuarteador mecánico o se cuartea manualmente para obtener las sub-muestras. Típicamente, siempre se requerirá añadir agua para preparar las sub-muestras para la compactación.

**7.4** *Compactación* – Luego del período de curado, si éste se requiere, cada sub-muestra (punto de compactación) se debe compactar como se indica en seguida.

**7.4.1** Se determina y registra la masa del molde o del molde más la placa de base (Ver numeral 7.4.7).

**7.4.2** Se ensambla y asegura el collar de extensión al molde y el conjunto a la placa de base. Se verifican las alineaciones de las paredes interiores del molde y del collar y se hacen los ajustes que sean necesarios. El molde se deberá apoyar, sin bamboleo alguno, sobre una fundación firme y rígida, como la que puede brindar un cubo de concreto con una masa no menor de 91 kg (200 lbf). Se asegura la placa de base del molde a la fundación rígida. El método de aseguramiento deberá permitir que, luego de la compactación, el molde (con el collar y la base) se pueda retirar con facilidad.

**7.4.2.1** Durante la compactación es ventajoso, aunque no indispensable, determinar la humedad de cada sub-muestra. Esto brinda una verificación sobre la humedad de moldeo determinada previamente para cada punto de compactación y sobre la magnitud del afloramiento de agua (Ver numeral 7.4.9). Si se decide hacer esto, será necesario que la sub-

muestra tenga una masa mayor que la citada con anterioridad.

- 7.4.3** El suelo se debe compactar en cinco capas más o menos iguales. Antes de la compactación, se coloca aproximadamente una quinta parte de la sub-muestra en estado suelto dentro del molde y se reparte para que dé lugar a una capa uniforme. En seguida, se oprime suavemente su superficie hasta que el suelo no presente un estado esponjoso o suelto, usando el martillo de operación manual o un cilindro de unos 50 mm (2") de diámetro. Tras la compactación de las cuatro primeras capas, cualquier porción de suelo que no haya quedado compactada debe ser escarificada con un cuchillo u otro elemento adecuado. El suelo escarificado se deberá descartar. La cantidad total de suelo usada deberá ser tal, que la quinta capa compactada sobrepase el borde del molde, quedando dentro del collar de extensión, pero en una longitud que no exceda de 6 mm ( $\frac{1}{4}$ "). Si se excede este límite, se deberá descartar el punto de compactación. Adicionalmente, el punto de compactación se deberá descartar cuando el último golpe del martillo para la quinta capa tiene como resultado que el fondo del martillo llega más abajo del borde superior del molde de compactación; a menos que el suelo sea suficientemente manejable, de manera que esta superficie pueda ser forzada más arriba del borde del molde de compactación durante el enrasado (nota 4).
- 7.4.4** Cada capa se compacta con 25 golpes cuando está en el molde de 101.6 mm (4") y con 56 golpes cuando está en el molde de 152.4 mm (6"). Siempre que se realicen pruebas de referencia, se usará el martillo de operación manual.
- 7.4.5** Al operar el martillo manual, se debe tener cuidado para evitar levantar la camisa guía durante la carrera ascendente del martillo. La camisa se debe mantener verticalmente con firmeza, con una tolerancia de 5°. Los golpes se deben aplicar con una velocidad uniforme de 25 por minuto y cubriendo toda la superficie de la capa. Cuando se use el molde de 101.6 mm (4") con el martillo manual, se debe seguir el patrón de impactos mostrado en las Figuras 142 - 3a y 142 - 3b; mientras que si se usa el martillo de operación mecánica solo se seguirá el patrón de la Figura 142 - 4, empleando el martillo de cara circular. Cuando se use el molde de 152.4 mm (6") con el martillo manual, se deberá seguir el patrón de la Figura 142 - 4 hasta aplicar el noveno golpe y luego sistemáticamente alrededor del molde (Figura 142 - 3.b) y en el medio. Si se va a usar el martillo mecánico con este

molde, se deberá usar el martillo con cara de sector circular, empleando el patrón de la Figura 142 - 3b; si la superficie del suelo compactado es muy irregular (Ver nota 4), el patrón se deberá cambiar por el de la Figura 142 - 3a o el de la Figura 142 - 4. Probablemente, esto invalide el uso del martillo mecánico en esos puntos de compactación.

*Nota 4: Cuando se compactan muestras con humedad por encima de la óptima, se pueden presentar superficies compactadas desniveladas y se requiere el juicio del operador para definir la altura de la muestra y patrón de golpeo con el martillo.*

- 7.4.6** Terminada la compactación de la última capa, se remueven el collar y la placa de base del molde (excepto en el caso mencionado en el numeral 7.4.7). Se puede usar un cuchillo para desbastar el suelo adyacente al collar y ayudar a aflojarlo antes de removerlo, con el fin de evitar que la probeta compactada se rompa por debajo del borde superior del molde. Adicionalmente, para prevenir o reducir la adherencia del suelo al collar o a la placa de base, éstos se deben rotar cuidadosamente durante su remoción.

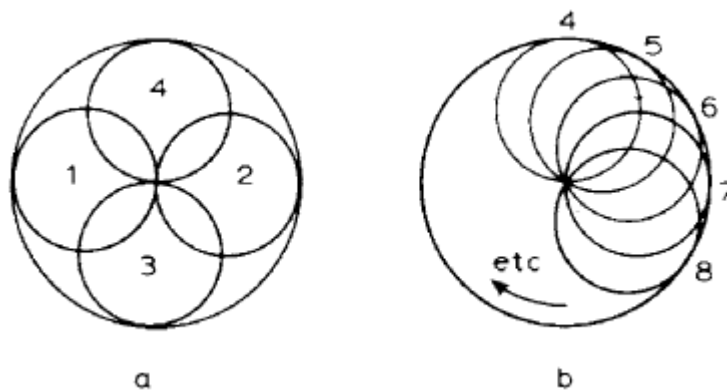


Figura 142 - 3. Patrón de impactos para la compactación en el molde de 101.6 mm (4")

- 7.4.7** Se enrasa cuidadosamente la probeta compactada con el borde superior del molde, empleando la regla metálica dispuesta para tal fin. Al comienzo, se puede emplear el cuchillo para remover el exceso de suelo en parte superior de la probeta, para evitar que la regla la desgare por debajo del borde superior del molde. Los pequeños orificios que queden en la superficie de la probeta se deberán rellenar con suelo no usado o desbastado de la muestra, presionándolo con los dedos y pasando nuevamente la regla a ras con el borde del molde. Si se encuentran partículas del tamaño de la grava, se debe escarificar alrededor de ellas o removerlas directamente, lo que resulte más cómodo y reduzca la alteración del suelo compactado, rellenando los

vacíos como se acaba de indicar. De las operaciones recién descritas se repiten las que sean necesarias en la parte inferior de la probeta, cuando el volumen del molde se haya determinado sin que la placa de base estuviera colocada. Para suelos muy secos o muy húmedos, se puede perder suelo o agua, respectivamente, al remover la placa de base. Para estas situaciones, se debe dejar la placa de base atornillada al molde. Cuando la placa de base se deja adjunta al molde, el volumen de éste se debe calibrar con ella puesta, en lugar de emplear una placa de vidrio o plástico, como se describe en el numeral A.1.4 del Anexo A.

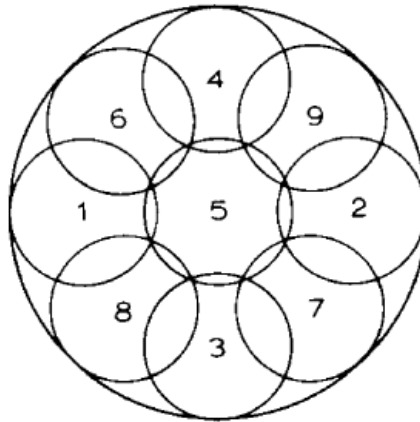


Figura 142 - 4. Patrón de impactos para la compactación en el molde de 152.4 mm (6")

- 7.4.8** Se determina y anota la masa del molde con la probeta compactada, con aproximación de 1 g. Cuando la placa de base se deja puesta con el molde, se debe determinar su masa junto con la del molde y la de la probeta compactada.
- 7.4.9** Se extrae del molde la probeta compactada. Se obtiene una muestra de ella para determinar la humedad, sea tomando el total de la muestra (método preferido) o una porción de ella. Cuando se utilice el total de la muestra, ésta se deberá desmenuzar para facilitar el secado. En el otro caso, se obtiene una porción representativa de las tres capas, removiendo suficiente material de la probeta para reportar el contenido de agua al 0.1 %. La masa de la porción representativa de suelo deberá estar de acuerdo con los requisitos indicados en la Tabla 122 - 1, método B de la norma INV E-122. El contenido de agua de moldeo de la probeta se deberá determinar con la misma norma.
- 7.5** Luego de la compactación de la última probeta, se comparan los pesos unitarios húmedos de todas, para asegurar que hay datos a ambos lados de la humedad óptima, que permitan la elaboración de la curva de compactación.

Dibujando los puntos que representan el peso unitario húmedo de cada probeta con su respectiva humedad de moldeo, se puede realizar esta evaluación. Si no se encuentra la tendencia esperada, será necesario compactar una o más probetas adicionales con otros contenidos de agua. Para personas con experiencia en el dibujo de curvas de compactación, un punto de compactación del lado húmedo (humedad mayor que la óptima) es suficiente para definir el máximo peso unitario húmedo.

## 8 CÁLCULOS

- 8.1** *Porcentajes de las fracciones* – Si no se dispone de los datos de granulometría de la muestra, la masa seca de la fracción de ensayo, y las fracciones gruesa y de ensayo (fracción fina) se determinan como se muestra a continuación, a partir de los datos de los numerales 7.2 o 7.3:

- 8.1.1** *Masa seca de la fracción de ensayo ( $M_{SFE}$ ):*

$$M_{SFE} = \frac{M_{HFE}}{1 + \frac{w_{FE}}{100}} \quad [142.1]$$

Donde:  $M_{HFE}$ : Masa húmeda de la fracción de ensayo, aproximada a 1 g;

$w_{FE}$ : Humedad de la fracción de ensayo, aproximada a 0.1%.

- 8.1.2** *Porcentaje de la fracción gruesa ( $P_{FG}$ ):*

$$P_{FG} = \frac{M_{SFC}}{M_{SFC} + M_{SFE}} \times 100 \quad [142.2]$$

Donde:  $M_{SFC}$ : Masa seca de la fracción gruesa, aproximada a 1 g;

- 8.1.3** *Porcentaje de la fracción de ensayo ( $P_{FE}$ ):*

$$P_{FE} = 100 - P_{FG} \quad [142.3]$$

- 8.2** *Humedades, densidades y pesos unitarios de las probetas compactadas (submuestras):*



**8.2.1** *Humedad de moldeo de cada probeta* – Se calcula cada humedad ( $w$ ), aproximada a 0.1 %, de acuerdo con la norma INV E-122.

**8.2.2** *Densidad húmeda de cada sub-muestra ( $\rho_H$ ):*

$$\rho_H = K \times \frac{M_T - M_{MD}}{V} \quad [142.4]$$

Donde:  $\rho_H$ : Densidad húmeda de la sub-muestra compactada (punto de compactación), con 4 dígitos significativos,  $\text{g/cm}^3$  o  $\text{kg/m}^3$ ;

$M_T$ : Masa del suelo húmedo dentro del molde, aproximada a 1 g;

$M_{MD}$ : Masa del molde compactación, aproximada a 1 g;

$V$ : Volumen del molde,  $\text{cm}^3$  o  $\text{m}^3$  (Ver Anexo A);

$K$ : Constante de conversión que depende de las unidades de densidad y de volumen:

Usar 1, para  $\text{g/cm}^3$  y volumen en  $\text{cm}^3$

Usar 1000 para  $\text{g/cm}^3$  y volumen en  $\text{m}^3$

Usar 0.001 para  $\text{kg/cm}^3$  y volumen en  $\text{m}^3$

Usar 1000 para  $\text{kg/m}^3$  y volumen en  $\text{cm}^3$

**8.2.3** *Densidad seca de cada sub-muestra ( $\rho_d$ ):*

$$\rho_d = \frac{\rho_H}{1 + \frac{w}{100}} \quad [142.5]$$

**8.2.4** *Peso unitario seco de cada sub-muestra ( $\gamma_d$ ):*

$$\gamma_d = K_1 \times \rho_d \quad \left[ \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \right] \quad [142.6]$$

$$\gamma_d = K_2 \times \rho_d \quad \left[ \frac{\text{lbf}}{\text{pie}^3} \right] \quad [142.7]$$

- $\gamma_d$ : Peso unitario seco, aproximado a  $0.01 \text{ kN/m}^3$  ( $0.1 \text{ lbf/pie}^3$ );
- $K_1$ : Constante de conversión ( $9.8066$  para densidad en  $\text{g/cm}^3$ ;  $0.0098066$  para densidad en  $\text{kg/m}^3$ );
- $K_2$ : Constante de conversión ( $62.428$  para densidad en  $\text{g/cm}^3$ ;  $0.062428$  para densidad en  $\text{kg/m}^3$ ).

### 8.3 Curva de compactación:

**8.3.1** Con los valores de la humedad de moldeo (numeral 8.2.1) y de peso unitario seco (numeral 8.2.4) de cada sub-muestra, se dibuja la curva de compactación (curva inferior de la Figura 142 - 5). El contenido de humedad que corresponda al punto más alto de la curva, se llamará "humedad óptima" (aproximada a 0.1 %), mientras que el peso unitario seco correspondiente al contenido óptimo de humedad, se denomina "peso unitario seco máximo" (aproximado a  $0.02 \text{ kN/m}^3$  o  $0.1 \text{ lbf/pie}^3$ ).

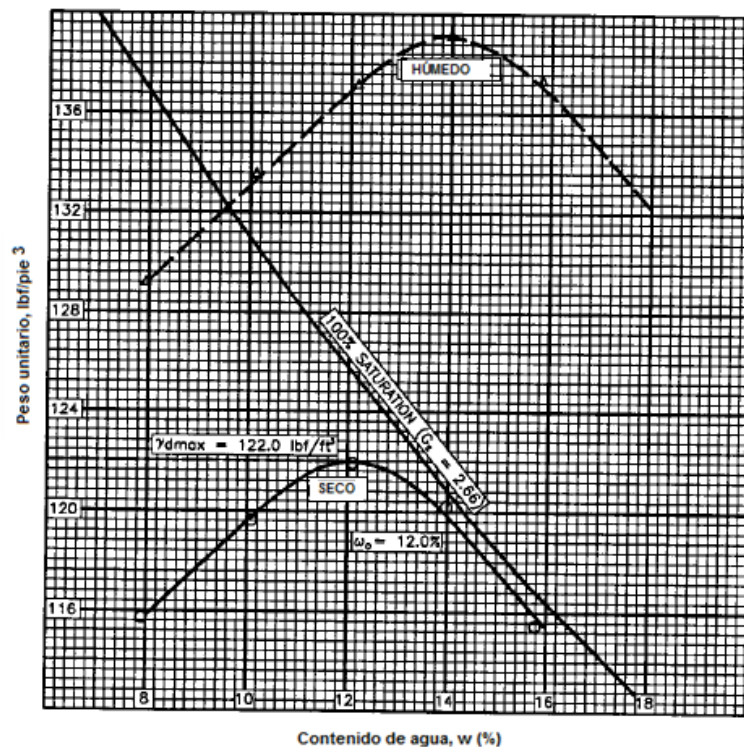


Figura 142 - 5. Ejemplo de dibujo de curva de compactación

*Nota 5: Con fines únicamente de comparación, en la parte superior de la Figura 142 - 5 se incluye la relación entre las humedades de moldeo (numeral 8.2.1) y los pesos unitarios húmedos. Estos últimos se obtienen multiplicando cada densidad húmeda (numeral 8.2.2) por las constantes  $K_1$  o  $K_2$ , dependiendo del sistema de unidades que se esté utilizando.*

**8.3.2** Si se removió más de 5 % de la muestra de ensayo a causa de la existencia de sobretamaños (fracción gruesa), los valores de humedad óptima y peso unitario seco máximo se deberán corregir de acuerdo con la norma INV E-143.

**8.3.3** Al dibujar la curva de compactación, las escalas se deben escoger de manera que su sensibilidad permanezca constante; es decir, que el cambio en humedad de moldeo o en peso unitario seco por división sea constante entre dibujos, típicamente, el cambio de peso unitario seco por división es el doble que el de humedad de moldeo (2 lbf/pie<sup>3</sup> por 1 % de agua, por cada división mayor). De esta manera, cualquier cambio en la forma de la curva de compactación es el resultado del ensayo de un material diferente y no de la escala escogida para el dibujo. Sin embargo, se debe usar una escala 1:1 cuando la curva de compactación es relativamente plana (Ver numeral 7.2.1), tal el caso de los suelos muy plásticos o muy permeables.

**8.3.3.1** En su rama húmeda (humedad de moldeo mayor que la humedad óptima), la curva de compactación sigue la forma de la curva de saturación (Ver numeral 8.4).

**8.4** *Curva de saturación* – Se dibuja la curva de saturación (0 % de vacíos con aire), a partir de la gravedad específica medida (normas INV E-128, INV E-222 o INV E-223; o todas ellas de ser necesario) o estimada. Los puntos para dibujar esta curva se obtienen eligiendo valores del peso unitario seco y calculando la respectiva humedad de saturación, con la expresión:

$$w_{\text{sat}} = \frac{(\gamma_w)(G_s) - \gamma_d}{(\gamma_d)(G_s)} \times 100 \quad [142.8]$$

Donde:  $\gamma_w$ : Peso unitario del agua a 20° C (9.789 kN/m<sup>3</sup> o 62.32 lbf/pie<sup>3</sup>);

$\gamma_d$ : Peso unitario seco del suelo con tres dígitos significativos, kN/m<sup>3</sup> o lbf/pie<sup>3</sup>;

$G_s$ : Gravedad específica del suelo, aproximada a 0.01

*Nota 6: La curva de saturación ayuda al dibujo de la curva de compactación. Para suelos que contienen más de 10% de finos y que se moldean con una humedad por encima de la óptima, la curva de compactación es más o menos paralela a la de saturación entre el 92 y el 95 % de saturación. Teóricamente, la curva de compactación no puede cortar la de saturación. Si lo hace, existe un error en la gravedad específica, en las medidas, en los cálculos, en el dibujo o en el ensayo mismo.*

## 9 INFORME

---

### 9.1 El informe debe incluir:

- 9.1.1 El método empleado para la compactación (A, B o C).
- 9.1.2 El método de preparación de la muestra (vía seca o vía húmeda).
- 9.1.3 El valor de la gravedad específica, aproximado a 0.01.
- 9.1.4 El dibujo de las curvas de compactación y de saturación.
- 9.1.5 La humedad óptima, como porcentaje, aproximada a 0.1 %.
- 9.1.6 El peso unitario seco máximo, con aproximación a 0.01 kN/m<sup>3</sup> o 0.1 lbf/pie<sup>3</sup>.
- 9.1.7 Los porcentajes de la fracción gruesa ( $P_{FG}$ ) y de la fracción de ensayo ( $P_{FE}$ ), con aproximación a 1%.
- 9.1.8 El tipo de martillo utilizado para la compactación.

## 10 PRECISIÓN Y SESGO

---

- 10.1 *Precisión* – Los criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados obtenidos con estos métodos de ensayo sobre los tres tipos de suelos, se presentan en las Tabla 142 - 3.

Tabla 142 - 3. Estimaciones de precisión

CONDICIONES EL ENSAYO Y PROPIEDAD MEDIDA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (1s)	RANGO ACEPTABLE ENTRE DOS RESULTADOS (d2s)
Precisión de un solo operario: Peso unitario máximo (lbf/pie <sup>3</sup> ) Humedad óptima (%)	0.6 0.4	1.8 1.0
Precisión entre laboratorios: Peso unitario máximo (lbf/pie <sup>3</sup> ) Humedad óptima (%)	1.6 0.7	4.4 2.1

**10.2 Sesgo** – No hay valores de referencia aceptados para este método de ensayo y, por lo tanto, no se puede determinar el sesgo.

## 11 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 1557 – 09

### ANEXO A (Aplicación obligatoria)

#### DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL MOLDE DE COMPACTACIÓN

##### A.1 Objeto:

- A.1.1** Este anexo describe el procedimiento para determinar el volumen del molde compactación.
- A.1.2** El volumen se puede determinar de dos maneras: llenándolo con agua o mediante un método de medida lineal
- A.1.3** El método que emplea el agua para el molde de 101.6 mm (4"), cuando se usa una balanza que da lecturas con aproximación a 1g, no suministra cuatro dígitos significativos para su volumen, sino solamente tres. Esto limita las determinaciones de densidad y peso unitario a solo tres dígitos significativos. Para prevenir es limitación, se

ha ajustado el método de llenado con agua, respecto del presentado en versiones anteriores de la norma.

## A.2 Equipo:

**A.2.1** Además del mencionado en la Sección 6 de esta norma, se requieren los siguientes elementos:

**A.2.1.1** *Calibrador* – De dial o vernier, cuyo rango de lectura se encuentre al menos entre 0 y 150 mm (0 – 6”) y con posibilidad de lectura de 0.02 mm (0.001”).

**A.2.1.2** *Micrómetro para medidas interiores (opcional)* – Con rango de medida de 50 a 300 mm (2 a 12”) y con lectura a 0.02 mm (0.01”) o mejor.

**A.2.1.3** *Micrómetro para medidas de profundidad (opcional)* – Con rango de medida de 0 a 150 mm (0 a 6”) y con lectura a 0.02 mm (0.01”) o mejor.

**A.2.1.4** *Placas plásticas o de vidrio* – Dos placas cuadradas de unos 200 mm de lado y 6 mm de espesor (8×8×1/4”).

**A.2.1.5** *Termómetro* – U otro dispositivo para medir temperaturas a 0.1° C.

**A.2.1.6** *Grasa de plomería* – O un sellante similar.

**A.2.1.7** *Elementos misceláneos* – Jeringa de bulbo, toalla, etc.

## A.3 Precauciones:

**A.3.1** El procedimiento descrito en este Anexo se debe adelantar en un área aislada de corrientes de aire o de fluctuaciones extremas de temperatura.

## A.4 Procedimiento:

**A.4.1** Método de llenado con agua:

**A.4.1.1** Se engrasa levemente el fondo del molde de compactación y se coloca éste sobre una de las placas de plástico o vidrio. Se

engrasa también su borde superior. Se debe tener cuidado para no engrasar la parte interior del molde. Si es necesario el uso de la placa metálica del molde, se coloca el molde engrasado sobre placa y se asegura a ésta con los tornillos de mariposa.

- A.4.1.2** Se determina la masa del molde engrasado y las dos placas de vidrio o plástico, con aproximación a 1 g y se anota el valor ( $M_{MP}$ ). Si se está usando la placa metálica de base atornillada al molde, se determina el peso del molde con la base metálica y una de las placas de vidrio o plástico y se determina la masa del conjunto, con aproximación a 1 g.
- A.4.1.3** Se coloca el molde sobre una de las placas de vidrio o plástico (excepto si el molde tiene la base metálica) sobre un soporte firme y nivelada. A continuación, se llena con agua hasta su borde superior.
- A.4.1.4** Se desliza la otra placa de vidrio o plástico sobre la superficie del molde, de manera que éste permanezca completamente lleno de agua y no haya burbujas de aire atrapadas. Se añade o remueve agua según sea necesario, empleando la jeringa de bulbo.
- A.4.1.5** Se seca cualquier resto de agua que haya en el exterior del molde o en las placas.
- A.4.1.6** Se determina la masa del molde más placas y agua, con aproximación a 1 g, y se anota el valor obtenido ( $M_{MP,W}$ ).
- A.4.1.7** Se determina la temperatura del agua que está dentro del molde, con aproximación a 0.1° C. A continuación, se determina la densidad del agua a esa temperatura, con ayuda de la tabla incluida en la norma INV E-128.
- A.4.1.8** Se calcula la masa de agua dentro del molde, sustrayendo el valor  $M_{MP}$  del valor  $M_{MP,W}$ .
- A.4.1.9** Se calcula y anota el volumen de agua, (con aproximación a 0.1 cm<sup>3</sup> si se ha usado el molde de 101.6 mm (4") o con aproximación a 1 cm<sup>3</sup> para el molde de 152.4 mm (6")), dividiendo la masa de agua (numeral A.4.1.8) por la densidad

del agua (numeral A.4.1.7). Si se desea obtener el volumen en  $m^3$ , el valor obtenido en  $cm^3$  se debe multiplicar por  $10^{-6}$ .

#### A.4.2 Método de medida lineal:

**A.4.2.1** Usando el calibrador vernier o el micrómetro para medidas interiores, se mide el diámetro interno del molde (DI) 6 veces en la parte superior y 6 veces en la parte inferior, tomando las medidas de manera equidistante alrededor de la circunferencia. Cada lectura se debe tomar con aproximación a 0.02 mm (0.001"). Se determina el diámetro promedio, con la misma aproximación ( $d_p$ ). Se verifica que este valor se encuentre dentro de las tolerancias de diámetro y si no se encuentra, se deberá descartar el molde.

**A.4.2.2** Usando el calibrador vernier o el micrómetro para medidas de profundidad (preferible), se mide la altura del molde con la placa de base atornillada a su parte inferior. Se deben realizar tres medidas distribuidas de manera equidistante alrededor de la circunferencia del molde. Cada lectura se debe tomar con aproximación a 0.02 mm (0.001"). Se determina la altura promedio del molde con la misma aproximación ( $h_p$ ). Se verifica que este valor se encuentre dentro de las tolerancias de altura y si no se encuentra, se deberá descartar el molde.

**A.4.2.3** Se calcula el volumen del molde por el método de medida lineal ( $V_L$ ), en  $cm^3$ , con cuatro dígitos significativos, con la expresión:

$$V_L = K_3 \frac{\pi \times h_p \times (d_p)^2}{4} \quad [142.9]$$

Donde:  $K_3$ : Constante para convertir a  $cm^3$  las medidas hechas en mm o en pulgadas:

Usar  $10^{-6}$ , si las medidas se tomaron en mm,  
Usar 16.387, si las medidas se tomaron en pulgadas;



**A.4.2.4** Si se desea obtener el volumen en  $m^3$ , el valor obtenido en  $cm^3$  se debe multiplicar por  $10^{-6}$ .

**A.5** *Comparación de resultados y volumen normalizado del molde:*

- A.5.1** El volumen, calculado por cualquiera de los dos métodos, debe cumplir las tolerancias mencionadas en el numeral 6.1. Para convertir  $cm^3$  a  $pie^3$ , los primeros se deben dividir por 28317 y el valor obtenido se debe aproximar al 0.0001  $pie^3$  más próximo.
- A.5.2** La diferencia entre los volúmenes determinados por los dos métodos no debe ser mayor de 0.5 % del valor nominal del molde.
- A.5.3** Si el valor de alguno de los valores calculados resulta sospechoso (o ambos), se deberán repetir las determinaciones.
- A.5.4** Si no se logra la concordancia aun después de realizar varios intentos, se puede concluir que el molde está deformado y se debe descartar.
- A.5.5** El volumen determinado por el método de llenado con agua o el promedio de los volúmenes hallados por los dos métodos, es el que se debe utilizar para calcular la densidad húmeda. Este valor debe tener cuatro dígitos significativos.

**Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente**

## CORRECCIÓN DEL PESO UNITARIO Y DEL CONTENIDO DE AGUA DE SUELOS QUE CONTIENEN SOBRETAMAÑOS

INV E – 143 – 13

### 1 OBJETO

---

- 1.1** Esta norma presenta un procedimiento para calcular los pesos unitarios y los contenidos de agua de suelos que contengan sobretamaños, cuando se conocen dichos parámetros para la fracción del suelo del cual ellos han sido removidos.
- 1.2** El método se puede utilizar, también, para calcular los pesos unitarios y los contenidos de agua de fracciones del suelo cuando se conocen los valores correspondientes a la muestra total, incluyendo los sobretamaños.
- 1.3** El método se basa en resultados de ensayos realizados sobre suelos y mezclas de suelo-agregado en los cuales la porción considerada como sobretamaño es la retenida en el tamiz de 4.75 mm (No. 4). Con base en estos ensayos, el método es aplicable a suelos y mezclas de suelo-agregado que contengan hasta 40 % de material retenido en el tamiz de 4.75 mm (No. 4). El método también resulta válido cuando se considere como sobretamaño la porción retenida en otro tamiz; por ejemplo, el de 19.0 mm ( $\frac{3}{4}$ "); sin embargo, en este caso el porcentaje admitido de sobretamaños para aplicar la corrección es menor. En tal sentido, el método se considera válido para materiales que contengan hasta 30 % de sobretamaños, en masa, cuando dichos sobretamaños correspondan a partículas mayores de 19.0 mm.
- 1.4** El factor que controla el porcentaje máximo admisible de sobretamaños, es si la interferencia producida por esas partículas afecta el peso unitario de la fracción fina. Para algunas granulometrías, esta interferencia puede ocurrir con menores porcentajes de sobretamaños, de manera que el porcentaje limitante debe ser menor para estos materiales, con el fin de evitar imprecisiones en el cálculo de la corrección.
- 1.5** Esta norma se puede aplicar a suelos con cualquier porcentaje de sobretamaños, con las limitaciones indicadas en los numerales 1.3 y 1.4. Sin embargo, la corrección puede carecer de significado práctico para suelos con porcentajes muy pequeños de sobretamaños. Por lo general, la aplicación de la norma debe comenzar a partir de 5 % de sobretamaños.

- 1.6** Esta norma no aplica a mezclas de suelo–agregado que se degradan durante la compactación en el terreno.
- 1.7** Esta norma reemplaza la norma INV E–228–07.

## 2 IMPORTANCIA Y USO

---

- 2.1** Los ensayos de compactación realizados de acuerdo con la normas de ensayo INV E–141 e INV E–142 presentan limitaciones en cuanto al tamaño máximo de partícula que se puede utilizar. Si el suelo contiene guijarros o grava, o ambos, se pueden seleccionar opciones de ensayo que hagan que las partículas retenidas en un tamiz específico sean descartadas (por ejemplo, en el tamiz No. 4, en el de 3/8" o en el de ¾") y la prueba se realiza sobre la fracción fina de la muestra. Las relaciones peso unitario-humedad, determinadas mediante estos ensayos, reflejarán únicamente las características de la fracción ensayada y no las del suelo total del cual se tomó la muestra para el ensayo.
- 2.2** Es práctica común en la ingeniería emplear los ensayos de compactación en el laboratorio para diseñar, especificar y controlar los suelos usados en la construcción. Si un suelo presenta sobretamaños en la obra y en el laboratorio solamente se ensayaron las partículas finas, se necesita algún método de corrección de los resultados del ensayo de laboratorio, que refleje las características de la totalidad del suelo. Esta norma presenta una ecuación matemática para corregir el peso unitario y la humedad de las fracciones finas ensayadas, de manera que se pueda determinar el peso unitario y la densidad del total del suelo.
- 2.3** De manera similar, la norma suministra un medio para corregir los valores de peso unitario y humedad obtenidos en el terreno, de manera de hacerlos comparables con los determinados en el laboratorio sobre la fracción fina del suelo.

*Nota 1: Cuando se utilice esta norma para el control de la construcción, la especificación debe indicar con claridad si el máximo valor de peso unitario a emplear como referencia, es un valor que incluye la fracción gruesa o si solo corresponde a la fracción fina que se ensayó en el laboratorio. Los valores calculados del porcentaje de compactación basados en esta norma, varían dependiendo de cuál es el peso unitario máximo que se usa como referencia.*

### 3 PROCEDIMIENTO

#### 3.1 Corrección del peso unitario y de la humedad para la muestra total:

**3.1.1** Se prepara la muestra con la cual se van a elaborar las probetas del ensayo de compactación, de acuerdo con la norma INV E-141 o INV E-142, según corresponda. Del total de la muestra, se determinan la masa húmeda de la fracción fina (fracción que pasa el tamiz No. 4, de 3/8" o de 3/4", según corresponda) y la masa húmeda de la fracción gruesa (fracción retenida en el tamiz No. 4, de 3/8" o de 3/4", según corresponda). Se determina el contenido de agua de cada una de las dos fracciones, de acuerdo con la norma INV E-122. Se calculan las masas secas de la fracción fina y de la fracción gruesa, con la expresión:

$$M_D = \frac{M_M}{1 + w} \quad [143.1]$$

Donde:  $M_D$ : Masa del material seco (fracción fina o gruesa);

$M_M$ : Masa del material húmedo (fracción fina o gruesa);

$w$ : Contenido de agua de la respectiva fracción, expresado como decimal.

**3.1.2** Se calculan las proporciones de las fracciones fina (de ensayo) y gruesa (sobretamaños), con las expresiones:

$$P_{FE} = \frac{M_{DF}}{M_{DF} + M_{DC}} \times 100 \quad [143.2]$$

y

$$P_{FG} = \frac{M_{DC}}{M_{DF} + M_{DC}} \times 100 \quad [143.3]$$

Donde:  $P_{FE}$ : Porcentaje de la fracción fina por masa;

$P_{FG}$ : Porcentaje de la fracción gruesa por masa;

$M_{DF}$ : Masa de la fracción fina;

$M_{DC}$ : Masa de la fracción gruesa.

**3.1.3** Se determina la gravedad específica de los sobretamaños ( $G_M$ ), empleando la norma INV E-223.

**3.1.4** Partiendo de los resultados del ensayo de compactación, se calculan la humedad corregida y el peso unitario corregido del material total (combinación de las fracciones fina y de sobretamaños), con las expresiones que se presentan en seguida:

$$C_w = w_F \times P_{FE} + w_C \times P_{FG} \quad [143.4]$$

Donde:  $C_w$ : Humedad corregida de las fracciones fina y gruesa Combinadas;

$w_F$ : Contenido de agua de la fracción fina, expresado como decimal;

$w_C$ : Contenido de agua de la fracción gruesa, expresado como decimal.

y

$$C_{yd} = \frac{100 \times \gamma_F \times \gamma_w \times G_M}{(\gamma_F \times P_{FG} + G_M \times P_{FE} \times \gamma_w)} \quad [143.5]$$

Donde:  $C_{yd}$ : Peso unitario seco corregido del material total (incluyendo las fracciones fina y de sobretamaños);

$G_M$ : Gravedad específica de la fracción gruesa;

$\gamma_F$ : Peso unitario seco de la fracción fina, determinado en el ensayo de compactación de laboratorio;

$\gamma_w$ : Peso unitario del agua (9.802 kN/m<sup>3</sup> o 62.42 lbf/pie<sup>3</sup>).

### 3.2 Corrección del peso unitario y de la humedad para la fracción fina de una muestra de suelo:

**3.2.1** Cuando se desee comparar el peso unitario y la humedad de un suelo compactado en el terreno que contenga sobretamaños, con los resultados del ensayo de compactación realizado en el laboratorio sobre la fracción de ensayo (sin sobretamaños), se aplica el procedimiento que se describe a continuación:

**3.2.1.1** Se determinan el peso unitario seco ( $\gamma_d$ ) y la humedad ( $w$ ) del material compactado en el terreno, aplicando alguna de las normas INV E-161, INV E-162, o INV E-164. En el mismo sitio, se toma una muestra del material total, teniendo el cuidado necesario para asegurar que la muestra tomada sea representativa del todo el material del terreno.

**3.2.1.2** Se remueven de la muestra de campo los sobretamaños (partículas mayores a 4.75 mm, 9.5 mm o 19.0 mm, según el caso), determinando su proporción en masa dentro de la muestra total ( $P_{FC}$ ). Se determinan la gravedad específica ( $G_M$ ) y la humedad de la fracción gruesa ( $w_C$ ).

**3.2.1.3** Se calcula la humedad de la fracción fina de la muestra tomada en el terreno ( $w_F$ ), de la siguiente manera:

$$w_F = \frac{(100 \times w - w_C \times P_{FC})}{P_{FE}} \quad [143.6]$$

**3.2.1.4** Se calcula el peso unitario seco de la fracción fina de la muestra tomada en el terreno ( $\gamma_F$ ), de la siguiente manera:

$$\gamma_F = \frac{\gamma_d \times G_M \times \gamma_w \times P_{FE}}{(100 \times G_M \times \gamma_w - \gamma_d \times P_{FC})} \quad [143.7]$$

## 4 INFORME

**4.1** El informe deberá contener, como mínimo:

**4.1.1** Identificación completa de la muestra.

- 4.1.2** Método de compactación de la muestra en el laboratorio.
- 4.1.3** Tamiz empleado para separar los sobretamaños.
- 4.1.4** El porcentaje de sobretamaños en masa.
- 4.1.5** El valor de gravedad específica usado para los cálculos.
- 4.1.6** Para las muestras compactadas en el laboratorio, el peso unitario seco máximo y la humedad óptima de la fracción fina, así como los valores corregidos para toda la muestra, de acuerdo con la proporción de sobretamaños.
- 4.1.7** Para las muestras obtenidas en el terreno, el peso unitario seco y la humedad del total de la muestra, así como los valores corregidos para la fracción fina, de acuerdo con la proporción de sobretamaños.

## **5 NORMAS DE REFERENCIA**

---

ASTM D 4718–87(2007)



# DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE EQUILIBRIO DE LA MASA UNITARIA (DENSIDAD) SECA Y DE LA HUMEDAD DE UN SUELO DE SUBRASANTE

INV E – 146 – 13

## 1 OBJETO

---

- 1.1 Esta norma establece el procedimiento a seguir para determinar la masa unitaria seca (densidad seca) de equilibrio y la humedad de equilibrio de los suelos de subrasante.
- 1.2 Esta norma reemplaza la norma INV E-146-07.

## 2 DEFINICIONES

---

- 2.1 *Masa unitaria seca de equilibrio o densidad seca de equilibrio ( $\rho_a$ )* – Es la masa unitaria seca que, a través del tiempo, logra un material de subrasante sometido a las condiciones normales de servicio, sea por densificación debida a las cargas del tránsito, sea por aumento de volumen debido a la succión de agua.
- 2.2 *Humedad de equilibrio ( $w_a$ )* – Es aquella que se tendrá bajo la estructura, una vez que el flujo de agua haya cesado, es decir, bajo una condición estática de flujo.
- 2.3 *Masa unitaria seca máxima o densidad máxima ( $\rho_{dm}$ )* – Es la masa unitaria seca máxima que puede alcanzar el material que se compacta con la energía del ensayo modificado de compactación (norma INV E -142).
- 2.4 *Masa unitaria seca suelta o densidad seca suelta ( $\rho_{dl}$ )* – Es la masa unitaria seca del material, cuando las partículas están en leve contacto entre sí. En suelos cohesivos, es la masa unitaria del material en el estado que corresponde al límite líquido (LL) y en los suelos granulares es la masa unitaria determinada directamente de la relación masa/volumen.
- 2.5 *Razón de compactación (RC)* – Es una relación que se establece entre la masa unitaria seca de equilibrio ( $\rho_a$ ) y los dos valores extremos de masa unitaria: la

masa unitaria seca suelta  $\rho_{dl}$  y la masa unitaria seca máxima  $\rho_{dm}$ . Se calcula de la siguiente forma:

$$RC = \frac{\rho_a - \rho_{dl}}{\rho_{dm} - \rho_{dl}} \quad [146.1]$$

**2.5.1** RC es igual a cero (0), cuando  $\rho_a = \rho_{dl}$ ; y es igual a uno (1), cuando  $\rho_a = \rho_{dm}$ .

*Nota 1: Si en lugar de masas unitarias secas en  $g/cm^3$ , se desea expresar los diferentes valores en términos de los pesos unitarios secos, en  $kN/m^3$ , las primeras de deberán multiplicar por 9.8066.*

### 3 IMPORTANCIA Y USO

---

**3.1** La masa unitaria seca (densidad seca) de equilibrio y la humedad de equilibrio brindan una indicación de las condiciones probables de trabajo de los suelos de subrasante bajo pavimentos asfálticos en servicio y pueden servir como base para establecer la resistencia o la respuesta dinámica de dichos suelos con fines de diseño estructural.

### 4 EQUIPO

---

**4.1** El equipo utilizado es el correspondiente a otros ensayos, a saber:

**4.1.1** Equipo para determinar el límite líquido (norma INV E-125).

**4.1.2** Elementos para determinar la gravedad específica de gravas, arenas y finos (normas INV E-223, INV E-222 e INV E-128).

**4.1.3** Elementos para determinar la masa unitaria seca suelta (norma INV E-217).

**4.1.4** Tamices para granulometría, de 4.75 mm (No. 4) y 425  $\mu m$  (No. 40).

**4.1.5** Equipo para el ensayo modificado de compactación (norma INV E-142).

## 5 PROCEDIMIENTO

- 5.1** Se determina el límite líquido de la fracción fina del suelo.
- 5.2** Se determinan los porcentajes de material que pasan los tamices de 4.75 mm (No. 4) y de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40).
- 5.3** Se determinan la densidad seca máxima ( $\rho_{dm}$ ) y la humedad óptima ( $w_o$ ) del suelo, a partir de la información obtenida mediante el ensayo modificado de compactación.
- 5.4** Se determinan las gravedades específicas de las diferentes fracciones del suelo, así:

GRAVEDAD ESPECÍFICA	PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	NORMA DE ENSAYO
$G_{bg}$	-	4.75 mm (No. 4)	INV E-223
$G_{bi}$	4.75 mm (No. 4)	425 $\mu\text{m}$ (No. 40)	INV E-222
$G_{bf}$	425 $\mu\text{m}$ (No. 40)	-	INV E-128

- 5.5** Se calcula la gravedad específica promedio del suelo ( $G_{bm}$ ), con la expresión:

$$G_{bm} = \frac{100}{\frac{a}{G_{bg}} + \frac{b}{G_{bi}} + \frac{c}{G_{bf}}} \quad [146.2]$$

- Donde: a: Porcentaje retenido en el tamiz de 4.75 mm (No. 4);
- b: Porcentaje que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4) y es retenido en el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40);
- c: Porcentaje que pasa el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40).

- 5.6** Cálculo de la masa unitaria seca suelta ( $\rho_{dl}$ ) – Se consideran tres casos:

- 5.6.1** Si el IP es igual o mayor de 10, se deduce en función del límite líquido, de la granulometría y de la gravedad específica promedio ( $G_{bm}$ ) en la siguiente forma:

**5.6.1.1** Se corrige el valor del límite líquido (LL) en función del porcentaje que pasa por el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40), así:

$$\text{LL corregido} = \frac{\text{LL} \times \% \text{ pasa tamiz de } 425 \mu\text{m}}{100} \quad [146.3]$$

**5.6.1.2** El valor de la masa unitaria seca suelta ( $\rho_{dl}$ ) se calcula con la fórmula:

$$\rho_{dl} = \frac{100}{\frac{100}{G_{bm}} + \text{LL corregido}} \quad [146.4]$$

**5.6.2** Si el IP es menor de 5, la masa unitaria seca suelta se determina de acuerdo con la norma INV E-217.

**5.6.3** Si el IP está comprendido entre 5 y 10, se determina la masa unitaria seca suelta aplicando los dos procedimientos anteriores, adoptando el valor de  $\rho_{dl}$  que arroje el menor valor para la masa unitaria (densidad) seca de equilibrio,  $\rho_a$ , calculada como se indica más adelante.

## 6 CÁLCULOS

**6.1** Se calcula la Razón de Compactación (RC), mediante la fórmula:

$$\text{RC} = 1 - \frac{\log(\text{LL corregido}) - 0.64}{4.4} \quad [146.5]$$

**6.2** Se calcula la densidad de equilibrio ( $\rho_a$ ), despejándola de la fórmula del numeral 2.5:

$$\rho_a = \text{RC} \times (\rho_{dm} - \rho_{dl}) + \rho_{dl} \quad [146.6]$$

**6.3** Se calcula la humedad de equilibrio ( $w_A$ ) mediante la expresión:

$$w_a = \frac{100}{\rho_a} - \frac{100}{\rho_{dm}} + w_o \quad [146.7]$$

## 7 INFORME

---

**7.1** Se deberá presentar la siguiente información:

**7.1.1** Granulometría del suelo.

**7.1.2** Límite líquido (LL).

**7.1.3** Gravedades específicas de las diferentes fracciones ( $G_{bg}$ ,  $G_{bi}$  y  $G_{bf}$ ) y gravedad específica promedio ( $G_{bm}$ ).

**7.1.4** Masa unitaria (densidad) seca máxima ( $\rho_{dm}$ ) y humedad óptima ( $w_o$ ), obtenidas en el ensayo modificado de compactación.

**7.1.5** Masa unitaria (densidad) seca suelta ( $\rho_{dl}$ ).

**7.1.6** Masa unitaria (densidad) seca de equilibrio ( $\rho_a$ ).

**7.1.7** Humedad de equilibrio ( $w_a$ ).

## 8 NORMAS DE REFERENCIA

---

VN E-24-68 SEOP, Dirección Nacional de Vialidad, República Argentina

**Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente**

# CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO Y SOBRE MUESTRA INALTERADA

INV E – 148 – 13

## 1 OBJETO

---

**1.1** Esta norma describe el procedimiento de ensayo para la determinación de un índice de resistencia de los suelos de subrasante, subbase y base, denominado CBR (*California Bearing Ratio*). Este método de ensayo está proyectado, aunque no limitado, para la evaluación de la resistencia de materiales que contengan tamaños máximos de partículas de menos de 19 mm ( $\frac{3}{4}$ ").

**1.2** Cuando se van a ensayar materiales con partículas de tamaño máximo mayor de 19 mm ( $\frac{3}{4}$ "), este método de ensayo provee una forma de modificar la gradación del material, de manera que el usado para las pruebas pase en su totalidad por el tamiz de 19.0 mm ( $\frac{3}{4}$ "), a la vez que mantiene constante la fracción del total de la grava entre 75 mm (3") y 4.75 mm (No. 4). Aunque tradicionalmente se ha empleado este método de preparación de especímenes para evitar el error inherente en el ensayo de materiales que contienen partículas gruesas en el equipo de prueba de CBR, el material modificado puede tener propiedades de resistencia significativamente diferentes a las del material original. Sin embargo, se ha desarrollado una gran base de experiencia usando este método para materiales en los cuales la gradación ha sido modificada y están en uso métodos satisfactorios de diseño, basados en los resultados de pruebas usando este procedimiento.

*Nota 1: No obstante la declaración del numeral 1.2, se ha comprobado que la práctica de reemplazar la fracción granular de tamaño mayor por otra más fina es inapropiada para determinar el peso unitario seco máximo de un suelo. Por este motivo, la ejecución de los ensayos de compactación normal y modificado (normas INV E-141 e INV E-142) desaprueban completamente dicho procedimiento. El ingeniero diseñador deberá evaluar la conveniencia de aceptar este reemplazo, mientras estudios detallados sobre el particular conducen a una modificación de esta norma en este aspecto particular.*

**1.3** La experiencia ha demostrado que los resultados del ensayo CBR para aquellos materiales que contienen porcentajes sustanciales de partículas retenidas en el tamiz 4.75 mm (No. 4), son más variables que los de los materiales más finos. En consecuencia, se pueden requerir más pruebas para estos materiales, con el fin de establecer un valor confiable de CBR.

**1.4** El ensayo se realiza, normalmente, sobre una muestra de suelo preparada en el laboratorio en determinadas condiciones de humedad y densidad. Los pesos unitarios secos de los especímenes corresponden, generalmente, a un

porcentaje del peso unitario seco máximo obtenido en el ensayo normal de compactación (INV E-141) o en el ensayo modificado (INV-142); pero, también, se puede operar en forma análoga sobre muestras inalteradas tomadas del terreno (Ver Anexo A).

- 1.5 La entidad que exija la ejecución de ensayos de acuerdo con esta norma, deberá indicar la humedad (o rango de humedades) y el peso unitario seco para el cual desea conocer el valor del CBR del suelo.
- 1.6 A menos que el cliente especifique algo en contrario, todos los especímenes ensayados por este método deberán ser sometidos a inmersión antes de la penetración.
- 1.7 Esta norma reemplaza la norma INV E-148-07.

## 2 DEFINICIONES

---

2.1 Las siguientes definiciones aplican específicamente a esta norma de ensayo:

- 2.1.1 *Contenido de agua (humedad) de la muestra (especimen) compactada(o)* – Contenido de agua, expresado en porcentaje, del material usado para compactar la muestra de ensayo.
- 2.1.2 *Contenido de agua en los 25.4 mm (1") superiores luego de la inmersión ( $w_s$ )* – Contenido de agua, expresado en porcentaje, del material de los 25.4 mm (1") superiores de la muestra compactada, luego de su inmersión y penetración.
- 2.1.3 *Contenido de agua luego del ensayo ( $w_f$ )* – Contenido de agua, expresado en porcentaje, del material de la muestra compactada, luego de su inmersión y penetración, sin incluir el material descrito en el numeral 2.1.2.
- 2.1.4 *Densidad seca antes de la inmersión ( $\rho_d$ )* – Densidad seca del espécimen tal como fue compactado, calculada a partir de su masa húmeda y de su contenido de agua.



### 3 RESUMEN DEL MÉTODO

---

- 3.1** El ensayo CBR se utiliza en el diseño de pavimentos. En el ensayo, un pistón circular penetra una muestra de suelo a una velocidad constante. El CBR se expresa como la relación porcentual entre el esfuerzo requerido para que el pistón penetre 2.54 o 5.08 mm (0.1 o 0.2") dentro de la muestra de ensayo, y el esfuerzo que se requirió para penetrar las mismas profundidades una muestra patrón de grava bien gradada.
- 3.2** Este método se emplea para determinar el CBR de una muestra compactada en un molde especificado. Es de responsabilidad de quien exige la ejecución de ensayos de acuerdo con esta norma, especificar la finalidad del ensayo para satisfacer sus protocolos o los requerimientos específicos del diseño. Entre las posibles finalidades se pueden mencionar las siguientes:
- 3.2.1** El ensayo se debe realizar sobre cada punto de un ensayo de compactación realizado de acuerdo con las normas de ensayo INV E-141 o INV E-142. En este caso, el molde CBR con el disco espaciador especificado en esta norma tendrá el mismo volumen del molde de compactación de 152.4 mm (6").
- 3.2.2** Se emplea otra alternativa para la determinación del CBR del material compactado a unos valores específicos de humedad y densidad o, alternativamente, se establecen unos rangos de humedad y densidad para realizar los ensayos. En este caso, se requiere elaborar varias muestras de ensayo, usando dos o tres energías de compactación que permitan abarcar el rango requerido.

### 4 IMPORTANCIA Y USO

---

- 4.1** Este método de ensayo se emplea para evaluar la resistencia potencial de materiales de subrasante, subbase y base, incluyendo materiales reciclados, para su empleo en pavimentos de carreteras y pistas de aterrizaje. El valor de CBR obtenido en esta prueba forma parte integral de varios métodos de diseño de pavimentos flexibles.
- 4.2** Para aplicaciones en las cuales el efecto del contenido de agua de compactación sobre el CBR es bajo, tal el caso de los materiales de grano grueso sin cohesión, o cuando se permita una tolerancia en relación con el efecto de diferentes contenidos de agua de compactación en el procedimiento

de diseño, el CBR se puede determinar con el contenido óptimo de agua para un esfuerzo de compactación especificado. El peso unitario seco especificado corresponde, generalmente, al porcentaje mínimo de compactación permitido por las especificaciones para la compactación del suelo en el terreno.

- 4.3** Para aplicaciones en las cuales el efecto del contenido de agua de compactación sobre el CBR se desconoce, o en las cuales se desea tener en cuenta su efecto, el CBR se determina para un rango de contenidos de agua, usualmente el permitido para compactación en el campo, empleando las especificaciones existentes para tal fin.
- 4.4** El criterio para la preparación de especímenes de prueba de materiales autocementantes (y otros), los cuales ganan resistencia con el tiempo, se debe basar en una evaluación de ingeniería geotécnica. Los materiales autocementantes se deben curar apropiadamente hasta que se considere que las relaciones de soporte que se miden, representan las condiciones de servicio a largo plazo.

## 5 EQUIPO Y MATERIALES

---

- 5.1** *Prensa* – Utilizada para forzar la penetración de un pistón dentro del espécimen de ensayo. Debe estar equipada con una cabeza o base móvil que se mueva a una velocidad uniforme de 1.27 mm/min (0.05"/min), con una tolerancia de  $\pm 20$  %. La capacidad de la prensa debe satisfacer las exigencias de la Tabla 148 - 1.
- 5.1.1** La máquina debe estar equipada con un dispositivo indicador de carga que tenga una aproximación de lectura adecuada para la máxima carga prevista durante la penetración. La aproximación de lectura deberá ser de 44 N (10 lbf) o menos, si la prensa tiene una capacidad de carga de 44.5 kN (10 kip) o más; deberá ser de 22 N (5 lbf) si la capacidad de carga es de 22.3 kN (5 kip), y deberá ser de 8.9 N (2 lbf) para una capacidad de carga mínima de 11.2 kN (2.5 kip).
- 5.1.2** El dispositivo medidor de la penetración (dial mecánico o transductor de desplazamiento electrónico) debe dar lecturas con una aproximación a los 0.025 mm (0.001") más cercanos y estar asociado a un accesorio de montaje, el cual debe establecer una conexión entre el medidor de penetración, el pistón de penetración y el borde del molde, para brindar medidas de penetración correctas. El ensamble del

medidor a algún componente del marco de carga sometido a esfuerzo produce inexactitudes en las lecturas.

Tabla 148 - 1. Capacidad mínima de carga

MÁXIMO CBR QUE SE PUEDE MEDIR	CAPACIDAD DE CARGA MÍNIMA	
	(kN)	(lbf)
20	11.2	2500
50	22.3	5000
> 50	44.5	10000

**5.2** *Moldes* – Cada molde deberá ser un cilindro de un metal rígido, de 152,4 mm  $\pm$  0.66 mm (6  $\pm$  0.026") de diámetro interior y de 177,8  $\pm$  0.46 mm (7  $\pm$  0.018") de altura, provisto de un collar suplementario de no menos de 50.8 mm (2.0") de altura y una placa de base de 9.53 mm (3/8") de espesor, con perforaciones. La base se deberá poder ajustar a cualquier extremo del molde. Las perforaciones de la base deberán ser por lo menos 28, uniformemente distribuidas dentro del círculo que va a ser ocupado por el molde, de 1.59 mm (1/16") de diámetro. Al ensamblar el molde con el disco espaciador en su interior, el molde deberá tener un volumen interno (sin considerar el collar de extensión), de 2124  $\pm$  25 cm<sup>3</sup> (0.075  $\pm$  0.0009 pies<sup>3</sup>). La Figura 148 - 1 muestra un esquema de un molde apropiado para el ensayo.

**5.3** *Disco espaciador* – De forma circular, metálico, de 150.8  $\pm$  0.8 mm (5 15/16"  $\pm$  1/32") de diámetro y de 61.4  $\pm$  0.25 mm (2.416  $\pm$  0.01") de espesor (Ver Figura 148 - 1), para insertarlo dentro del molde cilíndrico como falso fondo durante la compactación.

*Nota 2: Al usar moldes con una altura de 177.8 mm (7.0") se necesita un disco espaciador de 61.37 mm (2.416") de espesor para obtener un espesor de espécimen compactado que esté de acuerdo con el espesor de 116.43 mm (4.584") indicado en las normas INV E-141 e INV E-142.*

**5.4** *Martillos de compactación* – Como los descritos en las normas INV E-141 e INV E-142, excepto que si se usa un martillo mecánico, solo se permite el empleo del de cara circular.

**5.5** *Aparato medidor de expansión* – Compuesto por los elementos indicados en los numerales 5.5.1 y 5.5.2, y cuya masa total no puede exceder de 1.27 kg (2.8 lb).

- 5.5.1** *Una placa de metal perforada* – Una para cada molde, de  $149.23 \pm 1.6$  mm ( $5\ 7/8 \pm 1/16$ ") de diámetro, con no menos de 42 perforaciones de 1,6 mm ( $1/16$ ") de diámetro, distribuidas uniformemente sobre el área de la placa. Estará provista de un vástago en el centro, con un sistema de tornillo que permita regular su altura (Ver Figura 148 - 1).
- 5.5.2** *Un trípode* – Para medir la expansión durante la inmersión de las probetas en agua. Sus patas deben estar conformadas de manera que se puedan apoyar en el borde del molde; el aparato lleva montado y bien sujeto en el centro un dial (deformímetro), cuyo vástago debe coincidir con el de la placa, de forma que permita controlar la posición de ésta y medir la expansión, con aproximación de 0.025 mm (0.001"), en un rango mínimo de 5 mm (0.200") (Ver Figura 148 - 1).
- 5.6** *Sobrecargas metálicas* – Unas diez por cada molde, una o dos anulares y las restantes ranuradas (similares a herraduras), con una masa de  $2.27 \pm 0.02$  kg ( $5 \pm 0.10$  lb) cada una y  $149.23 \pm 1.6$  mm ( $5\ 7/8 \pm 1/16$ ") de diámetro exterior. La anular debe tener un orificio central de, aproximadamente, 53.98 mm ( $2\ 1/8$ ") de diámetro (Ver Figura 148 - 1).
- 5.7** *Pistón de penetración* – Cilíndrico, metálico, de  $49.63 \pm 0.13$  mm de diámetro ( $1.954 \pm 0.005$ "), área de 1935 mm<sup>2</sup> (3 pulg<sup>2</sup>) y con la longitud necesaria para realizar el ensayo de penetración con el número requerido de sobrecargas según el numeral 7.2.5, pero nunca menor de 101.6 mm (4").
- 5.8** *Tanque* – Con capacidad suficiente para la inmersión total de los moldes en agua. Deberá tener una reja en su fondo, que permita el acceso del agua a través de las perforaciones de la placa de base del molde.
- 5.9** *Horno* – Termostáticamente controlado, preferiblemente de tiro forzado, regulable a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ).
- 5.10** *Balanzas* – Una de 20 kg de capacidad, y otra de 1000 g, con posibilidades de lectura de 1 g y 0.1 g, respectivamente.

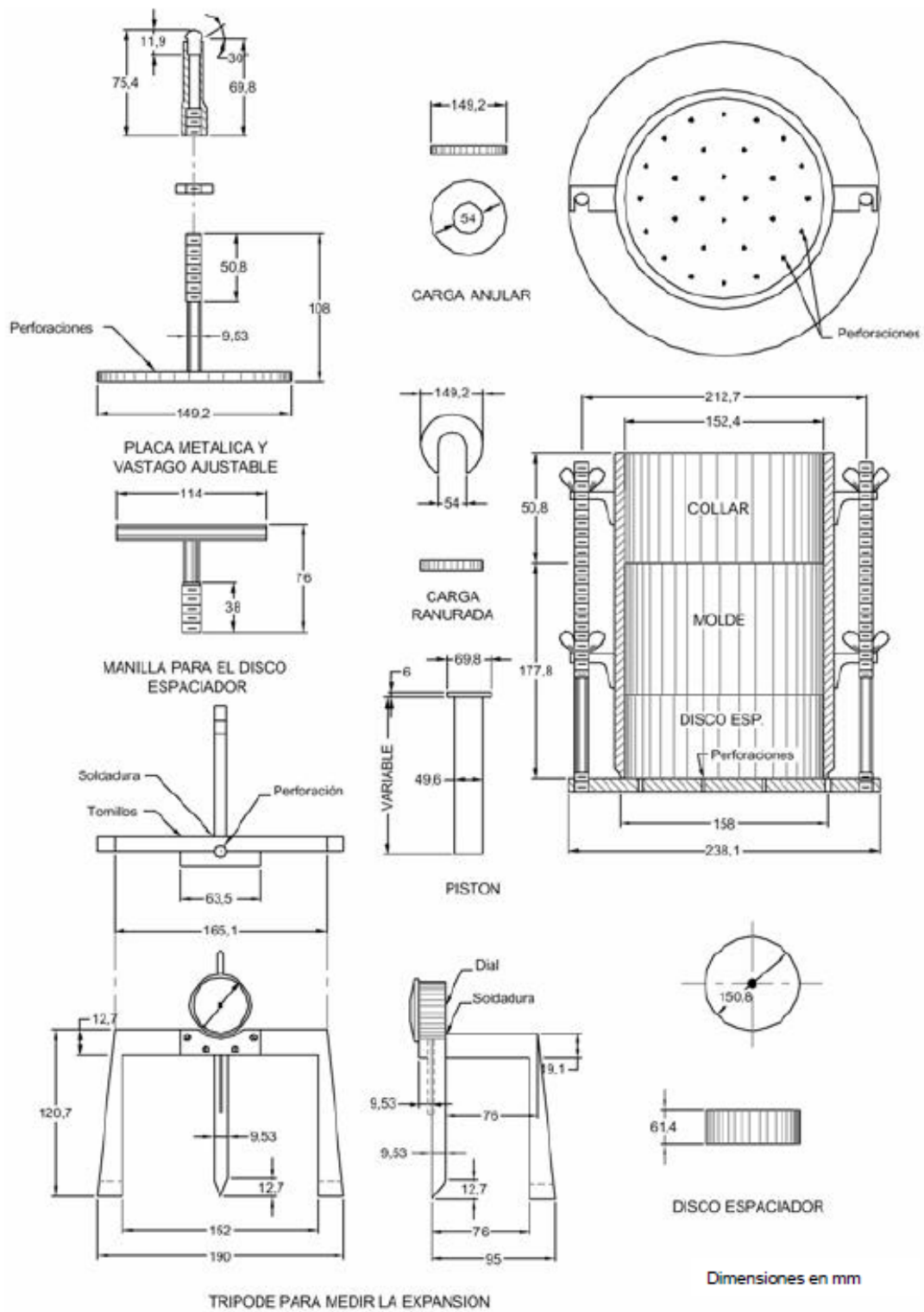


Figura 148 - 1. Elementos para determinar el CBR

5.11 *Tamices* – De 4.75 mm (No. 4) y de 19.0 mm (3/4").

- 5.12 Regla metálica** – De acero endurecido, de borde recto, al menos de 250 mm (10") de largo. El borde de corte y enrasado deberá ser biselado, si tiene más de 3 mm (1/8") de espesor. La regla no deberá ser tan flexible que, cuando enrase el suelo con el borde cortante, proporcione una superficie cóncava en la superficie de la muestra.
- 5.13 Material misceláneo** – Cuarteador, mezclador, cápsulas, probetas, espátulas, palas, cucharones, discos de papel de filtro aproximadamente del mismo diámetro interno del molde, etc.

## 6 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

---

- 6.1** Las muestras para compactación se deben preparar de acuerdo con el Método C, descrito en las normas INV E-141 o INV E-142, con la siguiente excepción:
- 6.1.1** Si todo el material pasa el tamiz de 19 mm ( $\frac{3}{4}$ " ), se deberá usar la gradación entera, sin modificación, para preparar las muestras para fabricar los especímenes para ensayo. Si hay partículas retenidas en dicho tamiz, ellas se deberán remover y reemplazar por una cantidad igual, en masa, de material que pase el tamiz de 19 mm ( $\frac{3}{4}$ " ) y quede retenido en el tamiz de 4.75 mm (No. 4) (Ver nota 1), obtenido de porciones de la muestra total que no se van a usar para el ensayo.

## 7 ESPECÍMENES PARA ENSAYO

---

- 7.1** *Para determinar la relación de soporte únicamente con el contenido óptimo de agua* – Usando el material preparado como se indica en la Sección 6, se adelanta una prueba de control de compactación, con el número suficiente de especímenes para determinar la humedad óptima del suelo, empleando las normas INV E-141 o INV E-142, según se haya especificado. Se puede aprovechar la información de un ensayo de compactación realizado previamente, siempre y cuando se haya efectuado el reemplazo citado en el numeral 6.1.1, si la muestra de material contuviese partículas retenidas en el tamiz de 19.0 mm ( $\frac{3}{4}$ " ) (nota 3).

*Nota 3: El peso unitario seco máximo obtenido al compactar los especímenes en el molde de 101.6 mm (4") es levemente superior al obtenido al compactarlos en el molde de 152.5 mm (6") o en el molde del ensayo CBR.*

- 7.1.1** Cuando se desee obtener el CBR al 100 % de compactación y a la humedad óptima, se compacta un espécimen usando el procedimiento de compactación especificado (INV E-141 o INV E-142), con una porción de suelo que contenga el contenido óptimo de agua  $\pm 0.5$  %, determinado de acuerdo con la norma INV E-122.

*Nota 4: Si el peso unitario seco máximo se determinó a partir de una prueba de compactación efectuada en el molde de 101.6 mm (4"), puede ser necesario compactar especímenes como se describe en el numeral 7.1.2, usando 75 golpes por capa u otro valor suficiente para producir un espécimen cuyo peso unitario seco sea igual o superior al requerido.*

- 7.1.2** Si se desea obtener el CBR con el contenido óptimo de humedad y a un determinado porcentaje del peso unitario seco máximo, se preparan tres especímenes con el contenido óptimo de agua  $\pm 0.5$  % y empleando el método de compactación especificado, pero aplicando un número diferente de golpes por capa a cada espécimen. Dicho número de golpes por capa deberá variar lo necesario para que los pesos unitarios secos resultantes presenten valores por encima y por debajo del valor deseado. Típicamente, si se desea obtener el CBR de un suelo al 95 % de compactación, resulta satisfactorio compactar especímenes con 56, 25 y 10 golpes por capa. La penetración se deberá realizar sobre todos ellos.

- 7.2** *Relación de soporte para un rango de contenidos de agua* – Se preparan especímenes de manera similar a la descrita en el numeral 7.1, salvo que todos los especímenes usados para desarrollar la curva de compactación deberán ser penetrados. Además, se deberán desarrollar relaciones completas entre el contenido de agua y el peso unitario seco para 25 golpes y 10 golpes por capa y cada espécimen de prueba compactado deberá ser penetrado. Todas las compactaciones se deben realizar en moldes de CBR. En casos en los cuales el peso unitario especificado está en o cerca del 100 % del peso unitario seco máximo, puede ser necesario incluir un esfuerzo de compactación mayor de 56 golpes por capa (nota 5).

*Nota 5: Un trazado semilogarítmico de peso unitario seco versus energía de compactación da, generalmente, una relación lineal recta cuando la energía, en  $\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}^3$  ( $\text{lbf}\cdot\text{pie}/\text{pie}^3$ ), se representa en la escala logarítmica. Este tipo de dibujo es útil para establecer la energía de compactación y el número necesario de golpes por capa para precisar el peso unitario seco especificado y el rango de contenidos de agua.*

- 7.2.1** Si el espécimen va a ser sometido a inmersión, se toma una muestra representativa del material para la determinación de humedad, de acuerdo con la norma INV E-122. Si el proceso de compactación se conduce bajo unas condiciones de temperatura razonablemente controladas (18 a 24° C) (65 a 75° F) y el suelo procesado se mantiene

en recipientes cerrados antes de su colocación dentro del molde, solamente se requiere una determinación de humedad. Si, por el contrario, el proceso de compactación se adelanta bajo unas condiciones ambientales fuera de control, se tomará una muestra representativa del material para la determinación de humedad al comienzo de la compactación de cada espécimen y otra muestra del material que sobre después de la compactación. Las determinaciones se deberán realizar de acuerdo con la norma INV E-122 y se tomará como contenido de agua representativo el promedio de los dos valores. La humedad de las dos muestras no deberá diferir en más de 1.5 % para poder asumir que el contenido de agua del espécimen es razonablemente uniforme.

- 7.2.2** Si el espécimen no va a ser sometido a inmersión, se toma una muestra para el contenido de humedad, de acuerdo con las normas INV E-141 o INV E-142, si se desea el contenido promedio de humedad.
- 7.2.3** Se ajusta el molde a la placa de base y se une el collar de extensión. A continuación, se inserta el disco espaciador dentro del molde y se coloca un papel filtro grueso sobre el disco. Se elaboran mezclas de suelo con agua y se compactan en moldes de CBR, de acuerdo con lo indicado en los numerales 7.1, 7.1.1 y 7.1.2.
- 7.2.4** Terminada la compactación, se quita el collar de extensión y se enrasa el espécimen con la regla metálica dispuesta para ello. Cualquier hueco superficial producido al eliminar partículas gruesas durante el enrase, se rellenará con material sobrante sin gruesos, comprimiéndolo con la espátula. Se desmonta el molde de la placa de base y se determina la masa del molde con el espécimen compactado. Se vuelve a montar el molde sobre la placa de base, pero ahora en posición invertida, sin incluir el disco espaciador y colocando previamente un papel de filtro sobre la placa de base.
- 7.2.5** Sobre la superficie de la muestra invertida se coloca la placa perforada con vástago ajustable y, sobre ésta, las pesas de sobrecarga necesarias para producir una presión equivalente a la originada por todas las capas de pavimento que se hayan de construir sobre el suelo que se ensaya, con una aproximación de 2.27 kg (5.0 lb), correspondientes a una pesa. En ningún caso, la sobrecarga total será menor de 4.54 kg (10 lb). A falta de instrucciones concretas al respecto, se puede determinar el espesor de las capas que se han de construir por encima del suelo que se ensaya, bien por estimación, o por algún método



aproximado. Cada 15 cm (6") de espesor de estructura del pavimento corresponde, aproximadamente, a 4.54 kg (10 lb) de sobrecarga. A continuación, se sumerge el molde en el tanque con las pesas de sobrecarga colocadas, dejando libre acceso al agua por la parte inferior y superior de la muestra. Se toma la primera lectura para medir la expansión, colocando el trípode de medida con sus patas sobre los bordes del molde, haciendo coincidir el vástago del deformímetro con el de la placa perforada (Figura 148 - 2). Se anota su lectura [con aproximación a 0.0025 mm (0.0001")], así como el día y la hora de la lectura. Se mantiene la probeta en estas condiciones durante 96 horas (4 días) con el nivel de agua constante, aproximadamente 25 mm (1") por encima de la superficie del espécimen. Se admite un periodo de inmersión más corto, nunca menor de 24 horas, si se trata de suelos granulares que se saturan de agua rápidamente y si los ensayos muestran que esto no afecta los resultados. Para algunos suelos arcillosos puede ser necesario un período de inmersión superior a 4 días. Al final del período de inmersión, se vuelve a colocar el trípode exactamente en la misma posición que cuando se tomó la primera lectura y se lee el deformímetro para medir el hinchamiento y calcular posteriormente la expansión, como un porcentaje de la altura inicial del espécimen.



Figura 148 - 2. Medida de expansión axial

- 7.2.6** Después del período de inmersión, se saca el molde del tanque y se vierte el agua retenida en la parte superior del mismo, sosteniendo firmemente la placa y las pesas de sobrecarga en su posición. Se deja escurrir el molde durante 15 minutos. Se debe tener cuidado para no alterar la superficie de la muestra durante el lapso de remoción de agua. A continuación, se retiran las pesas de sobrecarga, la placa

perforada y el papel de filtro. Inmediatamente, se pesa y se procede al ensayo de penetración según el proceso descrito en la Sección siguiente.

## 8 PENETRACIÓN DE LAS PROBETAS COMPACTADAS

---

- 8.1** Se colocan sobre el espécimen las mismas pesas de sobrecarga que tuvo durante el período de inmersión. Para evitar el empuje hacia arriba del suelo dentro del agujero de las pesas de sobrecarga, es conveniente colocar inicialmente una pesa anular sobre la muestra. Para ello, se lleva el molde a la prensa y se coloca la pesa anular y luego el pistón de penetración a través del orificio de la pesa. En seguida, se coloca el resto de las pesas alrededor del pistón.
- 8.2** Se aplica una carga de 44 N (10 lbf) para que el pistón asiente. Se monta el dial medidor de manera que se pueda medir la penetración del pistón (Ver numeral 5.1.2) y, seguidamente, se sitúan en cero los diales medidores: el del anillo dinamométrico (u otro dispositivo para medir la carga) y el de control de la penetración.

*Nota 6: Cuando las cargas son elevadas, los soportes de la prensa pueden sufrir un movimiento de rotación, afectando la lectura del dial de penetración. Verificar la profundidad de penetración del pistón es un medio de controlar indicaciones erróneas de la deformación.*

- 8.3** Se aplica la carga sobre el pistón de penetración mediante el gato o mecanismo correspondiente de la prensa, de manera de producir una velocidad de penetración uniforme, de 1.27 mm (0.05") por minuto (Figura 148 - 3). Las prensas manuales no preparadas para trabajar a esta velocidad de forma automática se controlarán mediante el deformímetro de penetración y un cronómetro. Se anotan las lecturas de la carga para las siguientes penetraciones del pistón dentro del suelo: 0.64 mm (0.025"), 1.27 mm (0.050"), 1.91 mm (0.075"), 2.54 mm (0.100"), 3.18 mm (0.125"), 3.81 mm (0.150"), 4.45 mm (0.175"), 5.08 mm (0.200"), 7.62 mm (0.300"), 10.16 mm (0.400") y 12.70 mm (0.500"). Si la carga máxima ocurre a una penetración menor de 12.70 mm (0.500"), se hará la anotación correspondiente.

*Nota 7: Se pueden omitir las lecturas de carga para penetraciones superiores a 7.62 mm (0.300"), si se advierte que se está alcanzando la capacidad de carga de la prensa.*



Figura 148 - 3. Ensayo de penetración

- 8.4** Se desmonta el molde de la prensa y si el espécimen fue sometido previamente a inmersión, se toma una muestra para determinar su humedad, de los 25 mm (1") superiores, en la zona próxima a donde se hizo la penetración. Su masa deberá ser al menos de 100 g si el suelo ensayado es de grano fino y de 500 g si es granular.

## 9 CÁLCULOS

---

- 9.1** *Curva penetración–esfuerzo* – Se calcula la presión aplicada por el pistón para cada penetración indicada en el numeral 8.3 (dividiendo la carga aplicada por el área del pistón mencionada en el numeral 5.7) y se dibuja una curva para obtener los esfuerzos de penetración a partir de los datos de prueba. Ocasionalmente, la curva resulta cóncava hacia arriba en su parte inicial, debido a irregularidades en la superficie del espécimen o a otras causas y, en tal eventualidad, el punto cero de la curva se debe ajustar como se muestra en la Figura 148 - 4. La corrección consiste en trazar una tangente a la curva en el punto de inflexión, cuya prolongación hasta el eje de abscisas definirá el nuevo origen de esa curva (penetración cero) para la determinación de las presiones correspondientes a 2.54 y 5.08 mm, como se indica más adelante. Se debe dibujar una curva por cada espécimen penetrado.

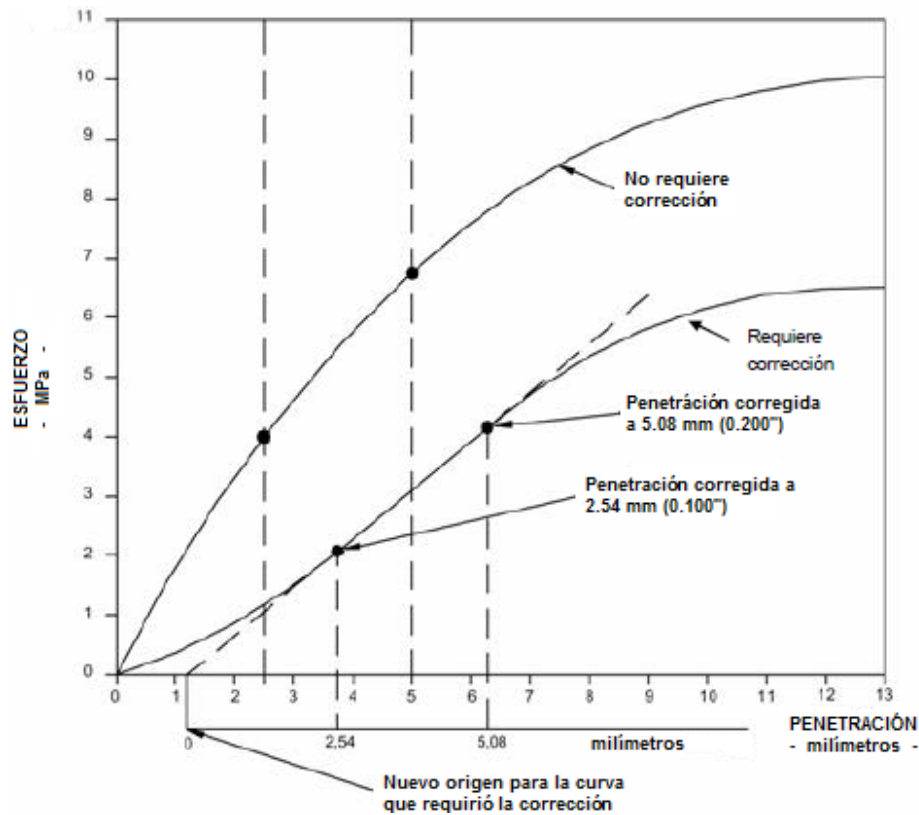


Figura 148 - 4. Curvas Penetración – Esfuerzo

**9.2 Relación de soporte (CBR) –** Usando los esfuerzos corregidos, tomados de las curvas penetración - esfuerzo, para penetraciones de 2.54 y 5.08 mm (0.100 y 0.200"), se calculan las relaciones de soporte correspondientes, dividiendo dichos esfuerzos por los esfuerzos de referencia 6.9 MPa (1000 lb/pg<sup>2</sup>) y 10.3 MPa (1500 lb/pg<sup>2</sup>), respectivamente, y multiplicando por 100. También, se debe calcular la relación de soporte para el esfuerzo máximo, si éste se produjo a una penetración inferior a 5.08 mm (0.200"); en este último caso, el esfuerzo de referencia se deberá obtener por interpolación. La relación de soporte (CBR) reportada para el suelo es, normalmente, la de 2.54 mm (0.1") de penetración. Cuando la relación a 5.08 mm (0.2") de penetración es mayor, se repite el ensayo. Si el ensayo de comprobación da un resultado similar, se toma como resultado del ensayo la relación de soporte (CBR) para 5.08 mm (0.2") de penetración.

**9.3 CBR de diseño para un solo contenido de humedad (humedad óptima) –** Usando los datos obtenidos a partir de los tres especímenes preparados como se indicó en el numeral 7.1.2, se dibuja la curva peso unitario seco (o densidad seca) – CBR (Figura 148 - 5). El CBR de diseño puede, entonces, ser determinado al porcentaje deseado del peso unitario seco máximo que,

normalmente, corresponde al porcentaje mínimo especificado para el control de la compactación en obra.

- 9.4** *CBR de diseño para un rango de contenidos de humedad (Ver numeral 7.2)* – Se trazan las curvas de compactación y las de humedad de compactación versus el CBR corregido con los datos de las pruebas realizadas con las tres energías de compactación, como se muestra en la parte izquierda de la Figura 148 - 6. Igualmente, se elaboran las curvas de peso unitario seco (o densidad seca) versus CBR para diversas humedades de compactación (gráfico de la parte derecha de la Figura 148 - 6). Para el propósito del informe, se acostumbra seleccionar el CBR más bajo dentro del rango en que el ingeniero haya determinado que se encontrará la humedad de equilibrio (por ejemplo, entre 13 y 16 % en el caso de la figura) y para un peso unitario seco (o densidad seca) ubicado entre el mínimo especificado y el máximo producido por compactación dentro del rango elegido de contenidos de agua, que se prevea que no dará origen a problemas por la expansión del suelo de subrasante en servicio (a manera de ejemplo, entre 1770 y 1842 kg/m<sup>3</sup> para el caso ilustrado en la figura). Los límites generados por estos dos rangos de humedad y peso unitario seco (o densidad seca) son los acotados por la zona achurada en el gráfico. Se deberá reportar, además, la expansión sufrida por el suelo durante el ensayo para la combinación de peso unitario seco (o densidad seca) y humedad correspondientes al valor de CBR que finalmente se escoja.

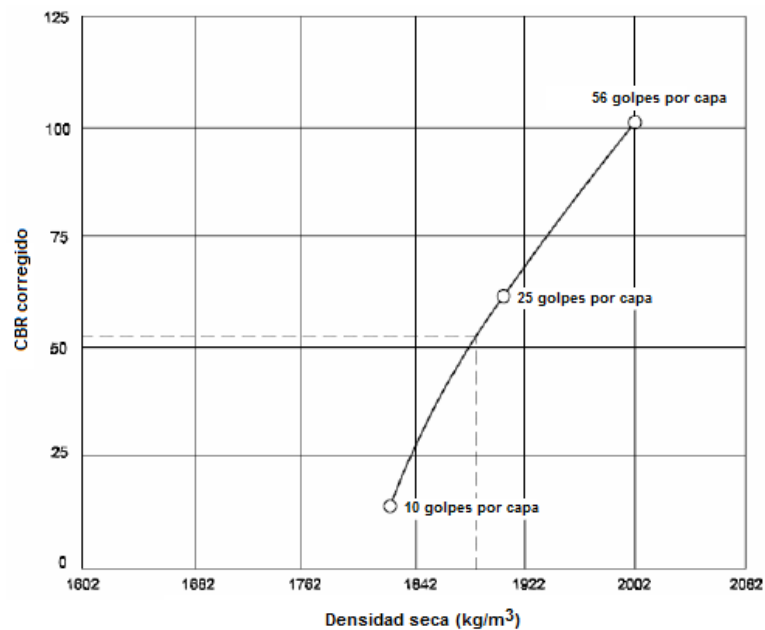


Figura 148 - 5. Curva Densidad seca – CBR

**9.5** *Cálculo de los pesos unitarios secos de los especímenes compactados* – Los pesos unitarios secos requeridos para dibujar las curvas mencionadas en los numerales 9.3 y 9.4, se determinan de la siguiente manera:

**9.5.1** *Densidad seca del espécimen antes de la inmersión ( $\rho_d$ ):*

$$\rho_d = \frac{M_{sac}}{V_m} \quad [148.1]$$

Donde:

$$M_{sac} = \frac{M_{mws} - M_m}{(1 + w_{ac})} \quad [148.2]$$

$M_{sac}$ : Masa seca del suelo al ser compactado en el molde, Mg o g;

$M_{mws}$ : Masa húmeda del suelo compactado más la masa del molde, Mg o g;

$M_m$ : Masa del molde, Mg o g;

$w_{ac}$ : Contenido de agua de porciones representativas tomadas durante el proceso de compactación de cada espécimen;

$V_m$ : Volumen del espécimen compactado en el molde, m<sup>3</sup> o cm<sup>3</sup>.

**9.5.2** *Conversión a peso unitario seco:*

**9.5.2.1** En kN/m<sup>3</sup>:

$$\gamma_d = 9.8066 \times \rho_d \quad [148.3]$$

**9.5.2.2** En lbf/pie<sup>3</sup>:

$$\gamma_d = 62.428 \times \rho_d \quad [148.4]$$

- 9.6 Expansión** – La expansión de cada espécimen se calcula por la diferencia entre las lecturas del deformímetro del aparato medidor de expansión al inicio y al final de la inmersión (Ver numeral 7.2.5). Este valor se reporta en tanto por ciento, con respecto a la altura inicial de la muestra en el molde, que es de 116.43 mm (4.58").

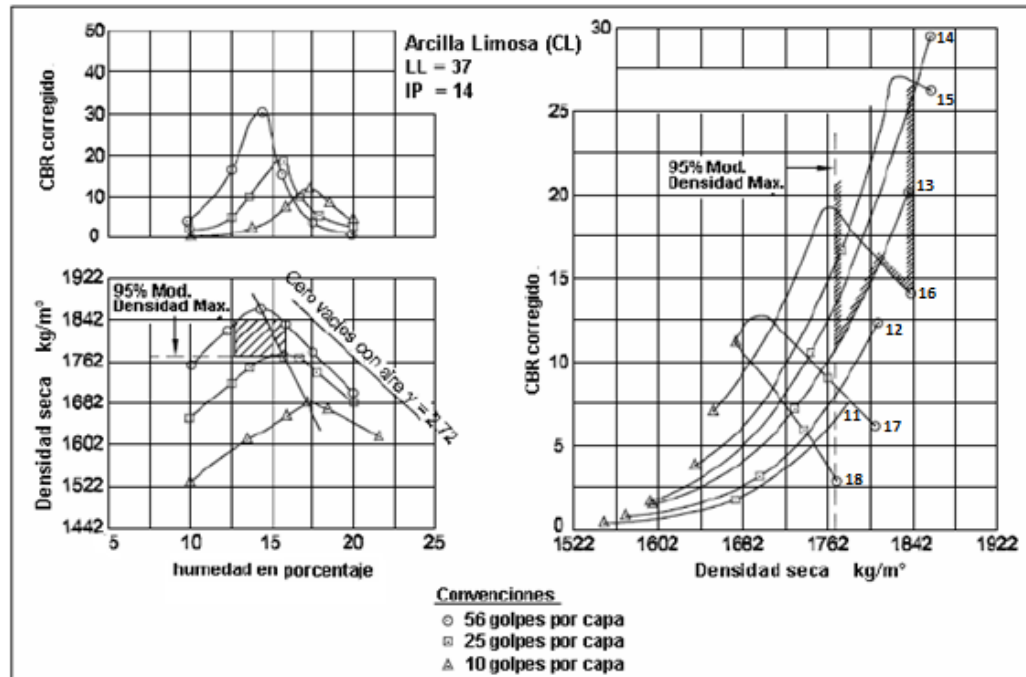


Figura 148 - 6. Determinación del CBR para un rango de humedades y densidades secas

## 10 INFORME

### 10.1 Deberá incluir, como mínimo, lo siguiente:

- 10.1.1** Identificación completa de la muestra de ensayo (proyecto, número y localización de la calicata, profundidad de muestreo, etc.).
- 10.1.2** Descripción de las pruebas realizadas para la identificación de la muestra: descripción visual (norma INV E-102); granulometría (norma INV E-123); límites de Atterberg (normas INV E-125 e INV E-126); clasificación formal (normas INV E-180 e INV E-181).
- 10.1.3** Método usado para la preparación y la compactación de las muestras (INV E-141, INV E-142 u otro), con la respectiva descripción.

- 10.1.4 Porcentaje de material retenido en el tamiz de 19.0 mm ( $\frac{3}{4}$ " ) y sustituido para realizar el ensayo.
- 10.1.5 Condición de ensayo de las probetas (con o sin inmersión previa).
- 10.1.6 Humedad y peso unitario seco con los cuales quedaron compactados los especímenes.
- 10.1.7 Humedad en la parte superior del espécimen luego de la penetración.
- 10.1.8 Pesas de sobrecargas utilizadas y tiempo de inmersión.
- 10.1.9 CBR de cada espécimen.
- 10.1.10 Curvas penetración versus esfuerzo.
- 10.1.11 Curvas CBR contra peso unitario seco y humedad, según los modelos mostrados en los ejemplos de las Figuras 148 - 5 y 148 - 6.
- 10.1.12 Valores de expansión de los especímenes.

## 11 PRECISIÓN Y SESGO

---

- 11.1 *Precisión* – A la fecha no se han recogido suficientes datos para establecer la precisión de este ensayo. En un caso particular, un usuario, basado en siete repeticiones, obtuvo una desviación estándar de 8.2 % con especímenes compactados con la energía del ensayo normal de compactación y de 5.9 % con especímenes compactados con la energía del ensayo modificado.
- 11.2 *Sesgo* – Ningún método disponible actualmente suministra valores aceptados como referencia para la capacidad de soporte obtenida por medio de este método de ensayo. Por lo tanto, no hay manera significativa de establecer el sesgo.

## 12 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

---

ASTM D 1883 – 07

THE ASPHALT INSTITUTE, "Soils Manual for Design of Asphalt Pavement Structures, Manual Series No. 10 (MS-10)", College Park, Maryland, April 1963



## ANEXO A (Información obligatoria)

### PROCEDIMIENTO PARA EL ENSAYO SOBRE MUESTRAS INALTERADAS

---

**A.1** En el caso de muestras inalteradas, se procede como sigue:

**A.1.1** Empleando un molde de filo cortante, de 152.4 mm (6") de diámetro, se sigue el procedimiento indicado en el numeral 3.3 de la norma INV E-104 para tomar la muestra inalterada para el ensayo, la cual se traslada luego al laboratorio.

**A.1.2** Cuando se vaya a efectuar el ensayo, se quita la parafina de ambas caras y, con ayuda de la prensa y del disco espaciador, o de un extractor de muestras, se deja un espacio vacío en el molde equivalente al del disco espaciador, enrasando el molde por el otro extremo. A continuación, se procede como con las muestras preparadas en el laboratorio.

*Nota A.1: La operación para dejar ese espacio vacío no es necesaria si se utiliza un molde de 116.43 mm de altura, en vez de los 177.8 mm, y se monta el collar antes de proceder al ensayo de penetración.*

**A.1.3** A voluntad del responsable, la muestra puede ser ensayada por un extremo con la humedad natural, recién retirada la parafina en el laboratorio, y por el otro extremo luego de someterla a un período de inmersión.

**Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente**

## DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DE SUELOS EMPLEANDO UN PROBADOR CON CARBURO DE CALCIO

INV E – 150 – 13

### 1 OBJETO

---

- 1.1** Este método de ensayo se emplea para determinar la humedad de suelos empleando un probador en el cual el agua disponible en una muestra de suelo de masa especificada reacciona químicamente con un volumen determinado de carburo de calcio, produciendo un gas cuya presión es medida por el manómetro del probador.
- 1.2** Este método de ensayo es aplicable a casi todo suelo arenoso y fino. El carburo de calcio usado como reactivo, reacciona con el agua a medida que se mezcla con el suelo cuando se sacude y agita con ayuda de esferas de acero que se encuentran dentro del probador. Para producir resultados precisos, el reactivo debe reaccionar con toda el agua que no se ha hidratado químicamente con minerales o compuestos del suelo. Algunos suelos arcillosos altamente plásticos o suelos que no son suficientemente desmenuzables, pueden producir resultados que no son representativos, debido a que parte del agua puede estar atrapada dentro de los terrones de suelo y no entrar en contacto con el reactivo. Puede haber algunos suelos con contenidos de ciertos componentes o químicos que reaccionan impredeciblemente con el reactivo, dando lugar a resultados erróneos. Cualquiera de estos problemas se hará evidente en el momento de la calibración o al hacer las contrapruebas con la norma de ensayo INV E-122. Algunos suelos que contienen componentes o minerales que se deshidratan con el calor (como el yeso), los cuales deben tener un control especial de temperatura cuando se prueban con la norma de ensayo INV-122, pueden no ser afectados (deshidratados) cuando se ensayan de acuerdo con el carburo de calcio.
- 1.3** Este método de ensayo está limitado al empleo del equipo de prueba de humedad de carburo de calcio para especímenes de suelo de 20 g o más, cuyas partículas no sean mayores de 4.75 mm.
- 1.4** Esta norma reemplaza la norma INV E-150-07.

## 2 RESUMEN DEL MÉTODO

---

- 2.1** Un volumen determinado de carburo de calcio, en exceso del necesario para reaccionar con el agua, se coloca dentro del probador junto con dos esferas de acero y una muestra representativa del suelo sin partículas mayores de 4.75 mm, cuya masa sea la especificada por el fabricante del aparato. Una vez cerrado, el probador se sacude vigorosamente en un movimiento rotatorio que hace que el carburo entre en contacto con el agua del suelo, produciéndose gas acetileno en cantidad proporcional al agua disponible. El contenido aparente de agua se puede leer, entonces, en un manómetro adaptado al probador, el cual está calibrado para que la lectura que entrega sea, directamente, el contenido de agua de la masa especificada de suelo.
- 2.2** Se debe desarrollar una curva de calibración para cada probador y cada tipo de suelo, dibujando curvas que relacionen las lecturas del manómetro con los contenidos de agua determinados con la norma de ensayo INV E-122, empleando muestras representativas del suelo. La curva de calibración se usa para determinar un contenido de agua corregido, en ensayos subsecuentes sobre el mismo tipo de suelo.

## 3 IMPORTANCIA Y USO

---

- 3.1** El contenido de agua de un suelo, medido en el terreno o en el laboratorio, se usa prácticamente en todos los ámbitos de la ingeniería geotécnica. Con alguna frecuencia, se requiere conocer su valor con premura en sitios donde no hay hornos disponibles. En situaciones como esa, el método descrito en esta norma resulta apropiado.
- 3.2** El método requiere que las partículas de las muestras de ensayo sean menores de 4.75 mm.
- 3.3** Los resultados de este ensayo se han utilizado para el control de compactación de terraplenes y otras estructuras de suelo.
- 3.4** Este método de ensayo no es tan preciso como otros, por ejemplo, el descrito en la norma INV E-122. Las imprecisiones se pueden deber al tamaño reducido de la muestra de ensayo, a la existencia de grumos de suelo que no se desmenucen completamente en el probador y, por, lo tanto, no expongan al reactivo toda el agua disponible, o a otras inexactitudes imputables al equipo o al proceso. En consecuencia, se deberá acudir a otros métodos más

apropiados cuando se requieran datos muy precisos o cuando el uso de los resultados del ensayo sea sensible a variaciones pequeñas de la humedad.

## 4 EQUIPO

---

- 4.1 *Un probador de presión de carburo de calcio* – Con un manómetro adaptado en su tapa.
- 4.2 *Balanzas* – Un juego de balanzas manuales taradas o una balanza electrónica portátil.
- 4.3 *Dos esferas de acero* – Suministradas por el fabricante del probador.
- 4.4 *Cuchara* – Para medir el reactivo de carburo de calcio.
- 4.5 *Tamiz* – De 4.75 mm (No. 4).
- 4.6 *Elementos misceláneos* – Brocha y trapo para limpieza, gafas para la protección del operario, etc.
- 4.7 *Equipo requerido en la norma INV E-122* – Para realizar los ensayos de comparación y preparar las curvas de calibración.

*Nota 1: La Figura 150 - 1 muestra dos kits para el ensayo, uno con balanza manual y otro con balanza electrónica.*

## 5 MATERIALES

---

- 5.1 *Reactivo de carburo de calcio* – El carburo de calcio deberá estar finamente pulverizado y deberá ser de un grado tal, que pueda producir gas acetileno en una cantidad de, por lo menos 0.14 m<sup>3</sup>/kg (2.25 pie<sup>3</sup>/lb). La calidad de este reactivo se deteriora tras haber sido expuesto al aire o a alguna fuente de humedad, por lo que se recomienda comprarlo en pequeñas cantidades y mantenerlo almacenado en recipientes herméticos.



Figura 150 - 1. Probadores de carburo de calcio

## 6 PRECAUCIONES

- 6.1 Al combinarse con agua, el carburo de calcio produce gas acetileno que es altamente inflamable o explosivo. Por lo tanto, el ensayo no se debe llevar a cabo en espacios confinados o en vecindades de llama abierta, cigarrillos encendidos, rescoldos u otra fuente de calor que pueda causar combustión. Cuando se libere el gas del aparato al término de cada ensayo, se debe tener cuidado de no hacerlo contra el cuerpo, para evitar la aspiración de vapores nocivos.
- 6.2 Como precaución adicional, el operario debe usar máscara contra el polvo, ropa con mangas largas, guantes y gafas, para prevenir irritaciones del sistema respiratorio, de la piel y de los ojos.
- 6.3 Intentos de ensayar suelos excesivamente húmedos o un uso inadecuado del probador, por ejemplo, vertiendo agua dentro de la cámara, pueden originar presiones que exceden el nivel de seguridad del equipo, lo que puede ocasionar daños de éste y condiciones inseguras para el operario.
- 6.4 Se debe tener cuidado de no colocar cantidades importantes de carburo donde pueda existir contacto con el agua, debido a que el gas que se genera es explosivo.
- 6.5 El carburo de calcio ha sido clasificado como material peligroso, por lo que el usuario deberá atender todas las normas relacionadas con su uso, almacenamiento y transporte.

## 7 CALIBRACIÓN DEL PROBADOR

---

- 7.1** El equipo suministrado por el fabricante, incluyendo la cámara de prueba con su manómetro y la balanza, están calibrados como una unidad y deben trabajar emparejados para la ejecución del ensayo.
- 7.2** Se deben desarrollar curvas de calibración para cada equipo, usando los tipos generales de suelos que se van a ensayar y los rangos esperados en sus contenidos de agua. A medida que se van introduciendo nuevos materiales, se hará necesaria una calibración posterior para extender los datos de la curva para cada instrumento específico. Si se llevan a cabo pruebas durante un largo período de tiempo sobre el mismo suelo, se debe hacer periódicamente una nueva curva de calibración, sin exceder de 12 meses. Antes de usar una nueva cantidad de reactivo para el ensayo, se deben hacer dos puntos de control para comparar con la curva existente. Si la variación es de más del 1.0 % de humedad, se debe realizar una nueva curva de calibración.
- 7.3** Las curvas de calibración se elaboran seleccionando varias muestras representativas de la variedad de materiales de suelo que se van a ensayar y que tengan humedades dentro de un rango relativamente amplio. Cada muestra se divide cuidadosamente en dos especímenes, mediante cuarteo o un partidador de muestras. Teniendo cuidado de no perder humedad, se prueba un espécimen de acuerdo con el procedimiento de este método de ensayo sin usar una curva de calibración, y el otro espécimen se ensaya de acuerdo con el método descrito en la norma INV E-122.
- 7.4** Los resultados del contenido de agua por secado en el horno de todas las muestras seleccionadas, determinados por la norma INV E-122, se dibujan contra las lecturas del calibrador del probador de carburo de calcio para las correspondientes muestras de prueba. Se dibuja la curva de mejor ajuste a los puntos, formando una curva de calibración para cada tipo de suelo. Una dispersión amplia en los datos indica que este método de ensayo o el de la norma INV E-122 no son aplicables al suelo. La Figura 150 - 2 muestra una curva típica de calibración.
- 7.5** Se puede hacer una comparación de este método con el de la norma INV E-122 para un suelo dado, usando la curva de calibración. Los puntos por fuera de la curva indican desviaciones. Se pueden determinar las desviaciones normales y máximas, si se desea.

## 8 MUESTREO

---

- 8.1** Para pruebas de contenido de agua llevadas conjuntamente con otro método de ensayo (tal como el descrito en la norma INV E-122), gobernarán los requerimientos para la selección de la muestra y de los especímenes de ensayo indicados en la otra norma.
- 8.2** Por limitaciones en el equipo, es necesario el uso de especímenes más pequeños de lo recomendable para representar adecuadamente el total del suelo. Por lo tanto, se debe tener extremo cuidado en seleccionar especímenes que sean verdaderamente representativos.
- 8.3** Los especímenes deben contener solamente partículas menores de 4.75 mm.

## 9 PROCEDIMIENTO

---

- 9.1** Se remueve la tapa del probador y se coloca dentro de la cámara la cantidad de carburo de calcio recomendada por el fabricante del aparato, junto con las dos esferas de acero del kit de ensayo. La mayoría de los equipos construidos para ensayar muestras de 20 g, requieren aproximadamente 22 g del reactivo (usando la cuchara que viene con el kit, ésta deberá llenarse dos veces).
- 9.2** Usando la balanza manual o electrónica que viene con el equipo, se pesa una muestra de suelo de la masa exacta especificada por el fabricante del instrumento, que no contenga partículas de más de 4.75 mm. La masa se debe determinar con aproximación a 0.1 g. La masa de la muestra de ensayo se deberá reducir a la mitad, cuando se considere que su humedad puede exceder los límites de medida del manómetro o cuando, realmente, se alcance o exceda dicho límite en un ensayo (Ver numeral 9.6).
- 9.3** Se coloca la muestra de suelo en la tapa del probador y, entonces, con el aparato en una posición aproximadamente horizontal, se inserta la tapa en la cámara de presión y se sella la unidad, apretando la abrazadera y teniendo cuidado de que el carburo no se ponga en contacto con el suelo hasta cuando se haya logrado un sellado completo.



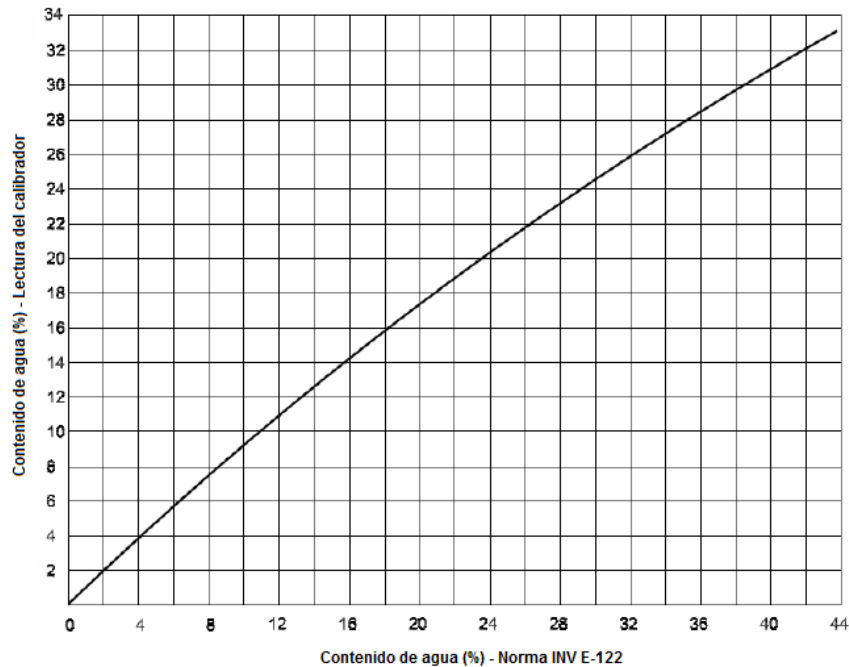


Figura 150 - 2. Curva típica de calibración

- 9.4** Se levanta el probador hasta una posición vertical, de tal manera que el suelo que estaba en la tapa caiga dentro del recipiente de presión. Se golpea con la mano un costado del probador, para asegurar que toda la muestra se desprendió de la tapa.
- 9.5** Se agita vigorosamente el aparato con un movimiento rotacional, para que las esferas de acero rueden por toda la circunferencia interna impactando y pulverizando el suelo y el reactivo. Este movimiento también previene que las esferas golpeen el orificio que conduce al manómetro. La agitación se deberá continuar por lo menos durante 60 segundos con arenas, y hasta por 180 segundos o más con arcilla. Se debe verificar de manera periódica el progreso de la aguja del manómetro. Se debe permitir que la aguja se estabilice a medida que el calor producido por la reacción química se va disipando.
- 9.6** Cuando la aguja se deje de mover, se lee el dial manteniendo el instrumento en una posición horizontal a la altura del ojo. Si la aguja supera el límite de medida del manómetro, se deberán repetir los pasos 9.1 a 9.6, usando una nueva muestra de suelo, cuya masa sea la mitad de la anterior. Cuando se usa media muestra, la lectura final del dial del manómetro se debe multiplicar por dos para obtener el dato con el cual se entra a la curva de calibración

- 9.7** Se registra la lectura del dial y se usa la curva de calibración apropiada para determinar el contenido de agua corregido, como porcentaje de la masa seca, anotándose el valor correspondiente.
- 9.8** Con la tapa del instrumento apuntando en dirección opuesta al operador (Ver Sección 6), se elimina lentamente la presión del gas. Se vacía la cámara del probador y se examina el material en cuanto a terrones. Si la muestra no está completamente pulverizada, el ensayo se deberá repetir empleando una nueva muestra.
- 9.9** Empleando la brocha y el trapo de limpieza, se limpian perfectamente la cámara y la tapa de todo carburo y suelo que tenga adheridos, antes de realizar otro ensayo. La ejecución repetida de ensayos puede causar recalentamientos en el aparato, los cuales afectan los resultados. El probador se deberá encontrar aproximadamente a la misma temperatura que tenía durante el proceso de calibración (se verifica tocándolo por fuera). Esto puede requerir de un leve calentamiento del aparato cuando se vaya a emplear en un instante en que la temperatura ambiente sea muy baja.
- 9.10** Los especímenes de suelo sometidos a este ensayo no se pueden emplear en pruebas posteriores, debido a que se encuentran contaminados con el reactivo.

## **10 INFORME**

---

**10.1** Se reporta la siguiente información:

- 10.1.1** Número asignado a la prueba e identificación de la muestra por localización (segmento del proyecto, estación, elevación, zona o rasgo distintivo) y por clasificación o descripción del material.
- 10.1.2** Identificación del aparato por número.
- 10.1.3** Masa del espécimen y lectura final del medidor de presión del aparato.
- 10.1.4** Contenido de agua de la muestra (de la curva de calibración), aproximado a 1.0 %.

## 11 PRECISIÓN Y SESGO

**11.1** *Precisión* – La precisión de éste método se basa en un estudio realizado en el Florida DOT en 2007. Se reunieron ocho técnicos, quienes analizaron un arena fina con 5 % de finos no plásticos, con tres humedades diferentes (la meta era lograr humedades de 8%, 12.5% y 16.5%). Cada “resultado de ensayo” reportado, representó una determinación individual y todos los técnicos reportaron de 3 a 5 réplicas para cada contenido de agua.

**11.1.1** *Límite de repetibilidad (r)* – Se considera que dos resultados de ensayos realizados en un laboratorio no son equivalentes, si difieren en más del valor “r” de ese material, siendo “r” el intervalo que representa la diferencia crítica entre dos resultados de ensayo para el mismo material, obtenidos por el mismo operario, usando el mismo equipo, el mismo día, en el mismo laboratorio. Los límites de repetibilidad se presentan en la Tabla 150 - 1.

**11.1.2** *Límite de reproducibilidad (R)* – Se juzga que dos resultados no son equivalentes, si difieren en más del valor “R” del material ensayado. “R” es el intervalo que representa la diferencia crítica entre dos resultados de ensayo para el mismo material, obtenidos por operarios diferentes, en laboratorios diferentes, empleando equipo diferente. Los límites de reproducibilidad se presentan en la Tabla 150 - 1.

**11.2** *Sesgo* – Durante el estudio, el contenido de agua se calculó también con el método que describe la norma INV E-122. El sesgo relativo para cada contenido de agua se muestra en la Tabla 150 - 1.

Tabla 150 - 1. Estudio de precisión sobre la determinación de la humedad del suelo con el probador de carburo de calcio

CONTENIDO DE AGUA DESEADO (%)	PROMEDIO DE LOS PROMEDIOS DE LOS LABORATORIOS	REPETIBILIDAD DESVIACIÓN ESTÁNDAR	REPRODUCIBILIDAD DESVIACIÓN ESTÁNDAR (r)	LÍMITE DE REPETIBILIDAD (R)	LÍMITE DE REPRODUCIBILIDAD	SESGO (%)
8.0	8.7	0.22	0.24	0.61	0.68	106.9
12.5	13.2	0.23	0.39	0.63	1.10	103.4
16.5	17.5	0.60	0.34	1.67	2.62	105.8

**12 NORMAS DE REFERENCIA**

---

ASTM D 4944 – 11

# CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE SUELOS

## INV E – 151 – 13

### 1 OBJETO

---

**1.1** Esta norma describe el procedimiento para determinar la magnitud y la velocidad de consolidación de muestras de suelos mediante una prueba de laboratorio en la cual se permite el drenaje axial de especímenes confinados lateralmente, mientras se someten a incrementos de carga con esfuerzo controlado. Para la ejecución del ensayo se puede seguir uno de los siguientes métodos:

**1.1.1** *Método A* – Este método se desarrolla aplicando de manera constante cada incremento de carga durante veinticuatro (24) horas o múltiplos de este tiempo. Las lecturas tiempo-deformación se deben realizar, como mínimo, durante dos incrementos de carga. Este método proporciona solamente la curva de compresión de la muestra y los resultados combinan las deformaciones debidas a consolidación primaria y a consolidación secundaria.

**1.1.2** *Método B* – Por este método, las lecturas de tiempo-deformación se hacen para todos los incrementos de carga. Los incrementos de carga se aplican: (a) después de alcanzado el 100 % de la consolidación primaria, o (b) a incrementos constantes de tiempo, como se describe en el método A. Como resultados, se obtienen la curva de compresión con datos explícitos para definir los datos correspondientes a la consolidación secundaria, el coeficiente de consolidación para materiales saturados y la velocidad de la compresión secundaria.

*Nota 1: El método para la determinación de la velocidad y magnitud de la consolidación del suelo cuando es sometido a ensayos de carga bajo deformación unitaria controlada se puede consultar en la norma ASTM D4186.*

**1.2** Generalmente, estos ensayos se efectúan sobre muestras de suelos finos saturadas e inalteradas, naturalmente sedimentados en agua; sin embargo, el procedimiento básico también es aplicable a muestras de suelos compactados y a muestras inalteradas de suelos formados por procesos diferentes, tales como alteración química y meteorización. Las técnicas de evaluación especificadas en estos métodos de ensayo asumen que los poros del suelo están completamente saturados y, por tanto, son aplicables a suelos sedimentados naturalmente en agua. La ejecución de estos ensayos puede

requerir técnicas especiales de evaluación, cuando se trata de suelos no saturados tales como los suelos residuales (por meteorización y alteración química) y los compactados. En particular, la interpretación de las curvas de tiempo para encontrar la velocidad de consolidación, sólo se aplica para suelos saturados.

- 1.3** Es responsabilidad del cliente especificar la magnitud y la secuencia de cada incremento de carga, incluyendo la ubicación del ciclo de rebote, si se requiere; se deben definir, también, en caso de emplear el método A, los incrementos de carga para los cuales se harán las lecturas tiempo-deformación. El nivel de esfuerzo máximo requerido depende del propósito del ensayo y se debe definir con el cliente. En ausencia de instrucciones específicas, se deben aplicar los incrementos y la duración de cargas descritos en la Sección 10.

*Nota 2: Las lecturas tiempo-deformación se emplean para determinar el tiempo que tomará la consolidación primaria y para evaluar el coeficiente de consolidación  $c_v$ . Puesto que  $c_v$  varía con el nivel de esfuerzos y el tipo de carga (en carga o descarga), los intervalos durante los cuales se desean realizar las lecturas tiempo-deformación se deben seleccionar con referencia al proyecto específico en el método A. Alternativamente, el cliente puede solicitar el método B, donde las lecturas tiempo-deformación se toman para todos los incrementos de carga.*

- 1.4** Estos métodos de ensayo no se refieren al uso del sistema de contrapresión para saturar la muestra. Existen otros equipos aptos para realizar el ensayo de consolidación con saturación por contrapresión. La saturación por contrapresión no constituye una inconformidad con estos métodos de ensayo.
- 1.5** La precisión y la exactitud con la cual sean empleados los resultados de estos ensayos en procesos de diseño u otros usos, no forman parte del alcance de esta norma.
- 1.6** Esta norma reemplaza la norma INV E-151-07.

## 2 DEFINICIONES

---

- 2.1** *Deformación axial* – Cambio en la dimensión axial de la muestra que se puede expresar en términos de longitud, altura del espécimen, deformación unitaria o relación de vacíos.
- 2.2** *Presión o esfuerzo estimado de pre-consolidación* – Valor del esfuerzo de pre-consolidación determinado por la técnica descrita en esta norma, con el fin de ayudar a la ejecución del ensayo en el laboratorio. No se debe considerar que

esta estimación es equivalente a una interpretación profesional de las medidas efectuadas durante el ensayo.

- 2.3** *Carga* – En el contexto de los ensayos de suelos, el acto de aplicar fuerza o deformación a la muestra. En el ensayo de consolidación unidimensional, la carga vertical se aplica usando pesas colocadas sobre un gancho.
- 2.4** *Incremento de carga* – Etapa del ensayo en la cual la muestra está bajo un esfuerzo axial total constante.
- 2.5** *Duración del incremento de carga* – Lapso durante el cual la muestra está bajo un esfuerzo total constante.
- 2.6** *Relación de incremento de carga, RIC* – Aumento o disminución del esfuerzo axial total que se va a aplicar a la muestra en el siguiente paso, dividido por el esfuerzo axial total actual.
- 2.6.1** *Aclaración* – La relación de incremento de carga refleja el hecho de que el ensayo se desarrolla adicionando gradualmente pesos para aplicar el esfuerzo axial total a la muestra.
- 2.7** *Esfuerzo axial total* – La fuerza que actúa sobre la muestra, dividida por el área de ésta. Una vez se ha completado la consolidación, se considera que el esfuerzo axial efectivo es igual al esfuerzo axial total.
- 2.8** *Incremento de esfuerzo axial total* – El cambio (incremento o disminución) en el esfuerzo axial total aplicado en una etapa.

### 3 RESUMEN DE LOS MÉTODOS DE ENSAYO

---

- 3.1** En estas pruebas de laboratorio, se toma una muestra de suelo, se confina lateralmente y se carga en dirección axial con incrementos de esfuerzo total. Cada incremento de carga se mantiene constante hasta cuando el exceso de presión de poros se haya disipado. Esta situación se identifica por medio de la interpretación del comportamiento tiempo-deformación bajo esfuerzo total constante y se basa en la premisa de que el suelo está 100 % saturado. Durante el ensayo se mide el cambio de altura de la muestra y se determina la relación entre el esfuerzo axial efectivo y la relación de vacíos o la deformación unitaria. Cuando se toman las lecturas de tiempo-deformación durante la aplicación de un incremento de carga, se puede calcular la velocidad de consolidación con el coeficiente de consolidación.

## 4 IMPORTANCIA Y USO

---

- 4.1** Los datos del ensayo de consolidación se emplean para estimar la magnitud y velocidad de los asentamientos diferenciales y totales de una estructura o de un terraplén. Estos datos son esenciales para diseñar las estructuras civiles y evaluar su comportamiento.
- 4.2** Los resultados obtenidos se ven afectados considerablemente por la alteración de las muestras. Por lo tanto, es muy importante seguir un proceso cuidadoso de selección y preparación de la muestra, con el objeto de minimizar las alteraciones.
- 4.3** Los resultados de los ensayos de consolidación dependen de la magnitud de los incrementos de carga. Tradicionalmente, el esfuerzo axial aplicado en un intervalo es el doble del correspondiente al intervalo anterior, lo que resulta en una relación de incremento de carga de 1.0. En muestras inalteradas, este procedimiento permite estimar el esfuerzo de pre-consolidación usando técnicas de interpretación establecidas. El ensayo se puede usar para modelar situaciones particulares de campo o encontrar parámetros especiales; se puede variar, por ejemplo, el esquema o programa tradicional de incrementos de carga de acuerdo con los requerimientos del proyecto. También, se puede inundar y cargar la muestra de acuerdo con los patrones de carga o de humedad esperados en terreno para evaluar mejor la respuesta del suelo. Las relaciones de incremento de carga menores que la unidad son aconsejables cuando el suelo es altamente sensitivo o su respuesta es altamente dependiente de la velocidad de deformación.
- 4.4** El método para encontrar la presión de pre-consolidación en estas pruebas permite verificar si se tomó un juego de lecturas de tiempo - deformación con posterioridad al esfuerzo de pre-consolidación y si el espécimen fue sometido a un nivel de esfuerzo suficientemente alto. Se pueden emplear técnicas alternativas para estimar el esfuerzo de pre-consolidación previo acuerdo con el laboratorio, pero siempre de conformidad con estos métodos de ensayo.
- 4.5** Los resultados de los ensayos de consolidación dependen de la duración de cada incremento de carga. Tradicionalmente, la duración de la carga es la misma para cada incremento e igual a 24 horas. Para algunos suelos, la velocidad de consolidación es tal, que la consolidación completa (disipación del exceso de presión de poros) requiere más tiempo. El aparato no posee mecanismos para verificar la disipación de la presión de poros. Es necesario emplear una técnica de interpretación que determine indirectamente si la consolidación se ha completado. Esta norma especifica procedimientos para



dos técnicas (Métodos A y B); no obstante, se pueden emplear técnicas diferentes previo acuerdo con el laboratorio y de conformidad con estos métodos de ensayo.

- 4.6** Los aparatos empleados para este ensayo no cuentan con dispositivos para verificar el grado de saturación de la muestra. La mayoría de las muestras inalteradas que se toman bajo el nivel freático están saturadas. Sin embargo, la velocidad de deformación durante el tiempo es muy sensible al grado de saturación y se debe tener precaución con las estimaciones sobre el tiempo de asentamiento en suelos en los que prevalece la condición de saturación parcial. La inundación de la muestra no cambia significativamente su grado de saturación, sino que suministra agua para eliminar presiones de poros negativas asociadas con el muestreo y previene la evaporación durante la prueba. La magnitud del efecto de la saturación parcial sobre los resultados del ensayo puede formar parte de la evaluación del mismo y puede incluir la aplicación de modelos teóricos diferentes de los de la teoría de consolidación convencional. Es posible, por otra parte, realizar el ensayo usando un aparato equipado para saturar el espécimen.
- 4.7** Estos métodos de ensayo usan la teoría convencional de la consolidación basada en la ecuación de consolidación de Terzaghi para calcular el coeficiente de consolidación,  $c_v$ . El análisis se basa en los siguientes supuestos:
- 4.7.1** El suelo está saturado y tiene propiedades homogéneas.
  - 4.7.2** El flujo del agua de los poros se produce en dirección vertical.
  - 4.7.3** La compresibilidad de las partículas de suelo y del agua de poros es despreciable frente a la compresibilidad del esqueleto del suelo.
  - 4.7.4** La relación esfuerzo-deformación es lineal bajo el incremento de carga.
  - 4.7.5** La relación permeabilidad-compresibilidad del suelo es constante bajo el incremento de carga.
  - 4.7.6** Aplica la ley de Darcy para flujo a través de medios porosos.

## 5 EQUIPO

---

- 5.1** *Dispositivo de carga* – Un dispositivo adecuado para aplicar cargas axiales o esfuerzos totales a la muestra. El dispositivo debe ser capaz de mantener las

cargas especificadas durante períodos prolongados de tiempo con una precisión de  $\pm 0.5\%$  de la carga aplicada y debe permitir la aplicación rápida de un incremento de carga dado sin generar ningún impacto significativo. La aplicación de la carga se debe completar en un tiempo correspondiente a 0.01 veces  $t_{100}$  o menos.

*Nota 3: Como un ejemplo, para suelos en los cuales la consolidación primaria se completa en 3 minutos, la carga aplicada deberá estar estable en menos de 2 segundos.*

**5.2 Consolidómetro** – Un dispositivo para mantener la muestra dentro de un anillo que puede estar fijo a una base o puede ser flotante (sostenido por fricción en la periferia de la muestra), con piedras porosas en cada cara del espécimen. El diámetro interno del anillo debe tener una tolerancia de mínimo 0.1 % del mismo. El consolidómetro debe proporcionar, también, un medio para sumergir la muestra en agua, para transmitir la carga concéntrica axial a los discos porosos y para medir la deformación axial del espécimen.

**5.2.1 Diámetro mínimo de la muestra** – El diámetro mínimo de la muestra o el diámetro interno del anillo, debe ser de 50 mm (2.0").

**5.2.2 Altura mínima de la muestra** – Su altura mínima inicial debe ser 12 mm (0.5"), pero no menor que 10 veces el diámetro máximo de partícula del suelo ensayado.

**5.2.3 Relación mínima diámetro–altura** – La relación mínima debe ser 2.5.

*Nota 4: Se recomienda el uso de relaciones mayores. Para minimizar los efectos de fricción entre la muestra y el interior del anillo, es conveniente emplear una relación mayor que 4.*

**5.2.4 Rigidez del anillo** – El anillo deberá ser suficientemente rígido para prevenir deformaciones laterales significativas durante el ensayo. La rigidez debe ser tal, que bajo condiciones de presión hidrostática en la muestra, el cambio de su diámetro no exceda 0.04 % bajo la mayor carga que se aplique.

*Nota 5: Por ejemplo, un anillo metálico de 3.2 mm (1/8") de espesor es adecuado para esfuerzos hasta de 6000 kPa (900 lbf/plg<sup>2</sup>), para muestras de 63.5 mm (2.5") de diámetro.*

**5.2.5 Material del anillo** – El anillo se debe elaborar con un material que no sea corrosivo en relación con el suelo o el fluido de poros. La superficie interior deberá ser altamente pulida o se deberá recubrir con un material de baja fricción, como grasa de silicona o bisulfuro de molibdeno. Para suelos no arenosos se puede usar politetrafluoroetileno.

- 5.3** *Discos porosos* – Los discos porosos (piedras porosas) podrán ser de carburo de silicio, de óxido de aluminio o de otro material de rigidez similar, que no se corra ante el suelo o los fluidos de poros. Los discos deben ser lo suficientemente finos para evitar la penetración del suelo dentro de sus poros pero no el flujo del agua proveniente de la muestra. Aun cuando no se cuenta con un criterio exacto, el factor de impedancia generado por el espesor del disco y su conductividad hidráulica (permeabilidad) debe ser de al menos 100.

*Nota 6: El factor de impedancia se define como el cociente entre el producto de la conductividad hidráulica del disco por el espesor de drenaje del suelo y el producto de la conductividad hidráulica del suelo por el espesor de la piedra.*

- 5.3.1** *Diámetro* – El diámetro del disco superior debe ser de 0.2 a 0.5 mm (0.01 a 0.02") menor que el diámetro interior del anillo. Cuando se emplea un anillo flotante, el disco del fondo deberá tener el mismo diámetro que el de la parte superior.

*Nota 7: El uso de discos tronco-cónicos o ahusados es recomendable para evitar la adhesión del disco a la pared del anillo. El diámetro mayor debe quedar en contacto con el suelo o la pantalla filtrante.*

- 5.3.2** *Espesor* – El espesor del disco debe ser suficiente para evitar su rotura. El disco superior se carga a través de una platina resistente a la corrosión, suficientemente rígida para evitar la rotura de éste.

- 5.3.3** *Mantenimiento* – Se recomienda limpiar los discos porosos después de cada uso. Los discos nuevos se deben hervir durante un mínimo de 10 minutos y dejar en agua hasta que se enfríen a temperatura ambiente antes de ser empleados. Inmediatamente después de cada uso, los discos se limpian con un cepillo no abrasivo y se hierven o se someten a ultrasonido para remover las partículas más finas que pueden reducir su permeabilidad.

*Nota 8: Se recomienda almacenar los discos porosos en un recipiente con agua de ensayo limpia entre uno y otro ensayo (ver numeral 5.12). Cada ciclo de secado atrae partículas que pueden causar la reducción de la conductividad hidráulica. Cuando se efectúan ensayos que requieren discos secos durante el procedimiento de montaje, ellos se pueden secar con papel absorbente justo antes de la prueba.*

- 5.4** *Pantalla filtrante* – Se coloca entre el disco poroso y el espécimen, con el objeto de evitar la intrusión de suelo dentro de aquél. Su presencia se debe tener en cuenta cuando se calcula el factor de impedancia. Puede ser de nylon-monofilamento o un papel de filtro grado 54, endurecido, de bajo contenido de ceniza.

*Nota 9: Los filtros deben tener aproximadamente la misma sección transversal que la muestra. Cuando se sigue el proceso de montaje húmedo, se debe sumergir el papel de filtro, si se usa, en un recipiente con agua para permitir que se equilibre antes del ensayo.*

- 5.5** *Cizalla o cortador cilíndrico* – Una plataforma giratoria de corte o un anillo cilíndrico empleado para tallar la muestra hasta conseguir el diámetro interior del anillo del consolidómetro, con una alteración mínima. Un dispositivo de corte que tenga el mismo diámetro interno (o 0.05 mm mayor) que el anillo para la muestra, se deberá instalar o ser integral con el anillo. El elemento de corte debe tener un borde afilado, una superficie altamente pulida y estar recubierto con un material de baja fricción. También, se puede usar un torno de corte. La herramienta de corte debe estar apropiadamente alineada para entregar una probeta del mismo diámetro del anillo.
- 5.6** *Deformímetro* – Para medir el cambio de espesor de la muestra con una resolución de 0.0025 mm (0.0001") o mayor.
- 5.7** *Placa espaciadora (disco espaciador)* – Una placa, usualmente acrílica, con una superficie circular plana y sobresaliente, que se encaja dentro del anillo y se usa para deprimir la superficie de la muestra dentro de éste unos 2 mm (0.08"). Cuando se use un anillo flotante, esta depresión debe ser el doble, razón por la cual se emplea una placa que genere mayor espacio. Estas placas no se necesitan cuando el consolidómetro cuenta con un mecanismo para centrar los discos porosos.
- 5.8** *Balanza* – Empleada para determinar la masa de la muestra más el anillo, etc., con al menos cuatro dígitos significativos.
- 5.9** *Horno* – Termostáticamente controlado, de ventilación forzada, que pueda mantener una temperatura a de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ \text{F}$ ).
- 5.10** *Recipientes para determinar la humedad* – De acuerdo con la norma INV E-122.
- 5.11** *Ambiente* – A menos que el cliente especifique otra, la temperatura para el ensayo debe estar en el rango de  $22 \pm 5^\circ \text{C}$ . Adicionalmente, la temperatura del consolidómetro, la muestra y el depósito de inmersión no debe variar en más de  $\pm 2^\circ \text{C}$  durante el ensayo. Para tal efecto, el ensayo se desarrolla normalmente en un cuarto con una temperatura relativamente constante. Si un cuarto de estas características no está disponible, el aparato se debe colocar en una cámara aislada u otro dispositivo que mantenga la temperatura dentro de la tolerancia citada anteriormente. El aparato no debe quedar expuesto directamente a los rayos del sol.

- 5.12** *Agua para el ensayo* – Se necesita agua para saturar los discos porosos y para llenar el depósito de inmersión. Idealmente, el agua debe tener una composición similar a la del fluido de los poros del suelo. Se puede extraer directamente agua de los poros del suelo en el terreno o emplear agua potable, agua desmineralizada o agua salina. El cliente debe especificar el tipo de agua que prefiere. De lo contrario, se usa agua potable del grifo.
- 5.13** *Equipo misceláneo* – Incluye espátulas, navajas y sierras de alambre para preparar la probeta.

## 6 TOMA DE MUESTRAS

---

- 6.1** *Recolección* – Las normas INV E–105 e INV E–109 describen los procedimientos y equipos que se usan para obtener muestras inalteradas para ensayo. Las muestras se pueden recortar de muestras inalteradas en bloque tomadas en campo (norma INV E-104). Las probetas remoldeadas se pueden preparar a partir de muestras masivas, con condiciones de humedad y densidad estipuladas por el cliente.
- 6.2** *Transporte* – Las muestras inalteradas se deben conservar, manipular y transportar de acuerdo con las normas dadas para grupos C y D en la norma INV E–103. Las muestras en bloque (masivas) están cubiertas por el grupo B.
- 6.3** *Almacenamiento* – Las muestras selladas se deben almacenar de tal manera que no haya pérdida de humedad, es decir, que no haya evidencias de secamiento parcial en los bordes de las muestras o de agrietamiento. El tiempo de almacenamiento debe ser mínimo, sobre todo cuando el suelo o sus fluidos puedan reaccionar con el tubo que los contiene.
- 6.4** *Alteración* – La calidad del ensayo de consolidación disminuye enormemente con la alteración de la muestra. Ningún procedimiento garantiza la obtención de muestras absolutamente inalteradas. De ahí la importancia de seleccionar adecuadamente las muestras para ensayo.

*Nota 10: El examen para verificar la alteración de las muestras se facilita enormemente con radiografías de rayos X (Ver norma ASTM D 4452).*

## 7 CALIBRACIÓN

---

- 7.1** *Aparatos de deformación* – Las deformaciones verticales medidas se deben corregir por el efecto de la compresibilidad del aparato, siempre que la deformación del equipo exceda el 0.1 % de la altura inicial de la muestra o cuando se usen discos de papel de filtro. Si se garantiza la corrección en cualquier punto durante el ensayo, entonces es necesario aplicar una corrección a todas las mediciones durante el ensayo, empleando los datos de calibración.
- 7.1.1** Para su calibración, el consolidómetro se arma tomando en lugar de la muestra un disco de cobre, de aluminio o de acero templado, de aproximadamente la misma altura que una probeta de ensayo y con un diámetro entre 1 mm (0.04") y 5 mm menor que el diámetro del anillo. Se humedecen los discos porosos. Si se van a usar discos de papel de filtro (ver numeral 5.3), se deben humedecer y se debe dejar el suficiente tiempo (mínimo 2 minutos) para permitir que pierdan el contenido de humedad durante cada incremento del proceso de calibración.
- 7.1.2** Se carga y descarga el consolidómetro como si se tratara del ensayo y se mide la deformación para cada carga aplicada. Cuando se usan pantallas de papel de filtro es necesario que la calibración se desarrolle siguiendo exactamente el programa de carga y descarga que se va a usar durante el ensayo real, debido al comportamiento inelástico de este material. La calibración se debe hacer anualmente o después de cualquier ajuste a los componentes del equipo.
- 7.1.3** Para cada aplicación de carga, se dibujan o tabulan las deformaciones del aparato (correcciones) que serán aplicadas a las deformaciones leídas durante el ensayo con muestra. El disco metálico también se deformará; sin embargo, esta deformación es despreciable siempre y cuando los niveles de esfuerzo no sean extremadamente grandes, caso en el cual también debe ser tenida en cuenta para añadirla a las correcciones.
- 7.1.4** Cuando se usan filtros de nylon, es posible representar las correcciones con una ecuación matemática.
- 7.2** *Elementos de carga misceláneos* – Se debe determinar la masa conjunta (con una precisión de 0.001 kg) del disco poroso superior más el de cualquier otro

dispositivo que descansa sobre la muestra y no sea contrarrestado por el bastidor,  $M_a$ .

**7.3** *Constantes del equipo* – Se deben medir los siguientes parámetros anualmente o después de cualquier ajuste del equipo:

**7.3.1** Altura del anillo,  $H_r$ , y diámetro del anillo,  $D_r$ , con precisión de 0.01 mm (0.0005"); masa del anillo,  $M_r$ , con precisión de 0.01 g.

**7.3.2** Espesor de la pantalla de filtro,  $H_{fs}$ , con precisión de 0.01 mm (0.0005").

**7.3.3** Espesor del resalto de la placa espaciadora,  $H_{rs}$ , con precisión de 0.01 mm (0.0005").

## 8 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

---

**8.1** Se deben reducir las posibilidades de alteración del suelo tanto como sea posible: cambios de humedad, de densidad, etc., así como evitar vibración, distorsión y compresión.

**8.2** Las muestras de ensayo se deben preparar en un lugar donde se minimicen los cambios de humedad.

*Nota 11: Para este propósito, se recomienda el uso de ambientes con alta humedad.*

**8.3** Se recorta la muestra (tallar o labrar) y se inserta en el anillo de consolidación. El suelo debe quedar ajustado dentro del anillo, sin vacíos en su perímetro. Cuando las muestras inalteradas provienen de tubos muestreadores, el diámetro interno del tubo debe ser, como mínimo, 5 mm (0.25") mayor que el diámetro interno del anillo de consolidación, excepto en los casos citados en los numerales 8.4 y 8.5. Se pueden usar plataformas giratorias cortantes o anillos cilíndricos cortantes para tallar la muestra de suelo hasta el diámetro adecuado. Cuando se use una plataforma giratoria se debe hacer un corte perimetral completo para reducir el diámetro de la muestra al diámetro interior del anillo de consolidación. Se inserta cuidadosamente la probeta dentro de éste, sin ejercer fuerza, hasta que sobresalga por la base del anillo. Cuando se use un anillo cortante cilíndrico, se debe recortar el suelo hasta una conicidad suave que se encuentra delante del borde de corte. En seguida, se avanza el cortador una distancia pequeña hasta alcanzar el diámetro final. Se repite el proceso hasta que la muestra sobresalga del anillo.

- 8.4** En suelos fibrosos como la turba y en aquellos que se dañan fácilmente al ser recortados, la muestra se puede transferir directamente desde el tubo que la contiene hasta el anillo, siempre que el diámetro de este último sea el mismo o ligeramente menor.
- 8.5** Las muestras que se obtienen empleando un tomamuestras revestido de anillos, se pueden usar directamente sin recorte previo, cuando han sido extraídas de acuerdo con la norma INV E-109 y cumplen con los requerimientos de rigidez del punto 5.2.4.
- 8.6** Se recorta la muestra a ras con los extremos planos del anillo. En suelos blandos o de consistencia media, se usa una sierra de alambre para minimizar el desmoronamiento. Se puede usar una regla con borde cortante afilado para hacer el labrado final, una vez removido el suelo excedente con la sierra de alambre. En suelos duros, el recorte de las partes superior e inferior se puede hacer solamente con la regla. Si se encuentra alguna partícula pequeña en la superficie que se está cortando, se debe retirar y rellenar el vacío con suelo de los recortes.

*Nota 12: Si se encuentran partículas grandes en el material cuando se está recortando, o en la muestra después del ensayo, se debe anotar en el informe esta observación visual o los resultados del ensayo de granulometría de acuerdo con la norma INV E-123 (excepto que el requisito sobre tamaño mínimo de la muestra debe ser ignorado).*

- 8.6.1** A menos que el consolidómetro cuente con un medio para centrar los discos porosos, la muestra debe ser deprimida levemente bajo la parte superior del anillo, y también en el fondo cuando se usa anillo flotante. Esto facilita la ubicación de las piedras porosas en el centro. Después de recortar su extremo superior a ras con el anillo, se cubre la muestra con el filtro y se usa el disco espaciador para extrudir parcialmente la muestra desde el fondo del anillo. Se recorta la superficie inferior de la muestra a ras con el anillo. Cuando se emplea anillo flotante, se cubre la superficie con el segundo filtro y se usa el disco espaciador de menor dimensión para empujar la probeta de regreso al anillo.

*Nota 13: Si en cualquier etapa del ensayo, la muestra se expande más allá de su altura inicial, el requerimiento sobre restricción lateral del suelo impone el uso de un espécimen deprimido o de un anillo equipado con un collar de extensión del mismo diámetro interior del anillo. En ningún momento se debe permitir que la muestra sobresalga del anillo o del collar de extensión.*

- 8.7** Se determina la masa húmeda inicial de la muestra,  $M_{T_0}$ , con precisión de 0.01 g, midiendo primero la masa del conjunto muestra-anillo y restando la masa del anillo,  $M_r$ .



- 8.8** Se determina la altura inicial de la muestra ( $H_0$ ) con una precisión de 0.01 mm (0.001"), usando una de las siguientes técnicas:
- 8.8.1** Se toma el promedio de, al menos, cuatro alturas medidas en diferentes puntos mediante el uso de un calibrador. Descontar el espesor del filtro si es del caso.
  - 8.8.2** Se calcula la altura como el espesor del anillo,  $H_r$ , menos el espesor de la placa espaciadora,  $H_{rs}$ , menos el espesor del filtro,  $H_{fs}$ .
- 8.9** Se calcula el volumen inicial de la muestra,  $V_0$ , con una precisión de 0.01 cm<sup>3</sup> (0.01 plg<sup>3</sup>), a partir del diámetro del anillo y de la altura inicial de la muestra.
- 8.10** Si se dispone de suficiente material, se recomienda obtener al menos dos contenidos de humedad natural de acuerdo con el método INV E-122, a partir del material que quedó como residuo del corte o labrado de la muestra.
- 8.11** El material sobrante producto del labrado se puede guardar en un recipiente sellado y se puede emplear para determinar las propiedades índice del suelo, como se describe en la Sección 9.

## 9 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO

---

- 9.1** La determinación de estas propiedades no forma parte de los requerimientos de este ensayo. Cuando se requieren, los ensayos pertinentes se deben hacer sobre el material más representativo posible. En materiales uniformes, todas las pruebas índice se pueden efectuar sobre los residuos de corte adyacentes, recogidos como se indica en el numeral 8.11. Cuando el suelo es heterogéneo o el material es escaso, las pruebas índice se pueden realizar sobre el suelo del espécimen de ensayo, obtenido como se indica en el numeral 10.6, más los residuos representativos recogidos según se describe en el numeral 8.11.
- 9.2** *Gravedad específica* – Se debe determinar de acuerdo con la norma INV E-128 sobre material de la muestra indicada en el numeral 9.1. Para efectos de cálculo (sección 11.2.4) se permite usar la gravedad específica determinada sobre otra muestra de suelo que se juzgue similar a la ensayada, siempre que no se requiera una relación de vacíos exacta.
- 9.3** *Límites de Atterberg* – El límite líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad se determinan de acuerdo con las normas INV E-125 e INV E-126, usando material de la muestra como se especifica en el numeral 9.1. Estos

datos permiten clasificar el suelo, pero no son un prerrequisito para la realización de este ensayo.

- 9.4 Granulometría** – La determinación de la distribución de los tamaños de las partículas se realiza aplicando la norma INV E–123 (excepto que se debe obviar el requisito sobre el tamaño mínimo de la muestra), sobre una porción de la muestra ensayada (numeral 10.6). Un análisis del tamaño de las partículas resulta útil cuando la inspección visual indica que el suelo contiene una fracción sustancial de material granular grueso. Sin embargo, este ensayo tampoco es prerrequisito para el de consolidación.

## 10 PROCEDIMIENTO

---

- 10.1** La preparación de los discos porosos y de otros elementos, depende del tipo de material que se va a ensayar. El consolidómetro se debe ensamblar de manera que se evite un cambio en el contenido de humedad o la expansión de la muestra. Se deben usar discos porosos secos y filtros para ensayar suelos secos altamente expansivos, así como para la generalidad de los suelos. Para ensayar suelos parcialmente saturados, se recomienda usar los discos humedecidos. Los discos saturados se usan solamente cuando el espécimen está saturado y presenta una baja afinidad por el agua. Los discos se preparan usando el agua de ensayo. Se ensamblan en el consolidómetro el anillo con la muestra, los discos porosos y los filtros (cuando son necesarios). Si no se va a inundar la probeta después de la aplicación de la carga de asentamiento (Ver numeral 10.2), el consolidómetro se debe encerrar en una membrana de caucho o plástica suelta, para prevenir el cambio de volumen debido a la evaporación.

*Nota 14: Para realizar un ensayo exitoso, no se debe permitir que la muestra se expanda en exceso de su altura inicial antes de que haya sido cargada más allá de su esfuerzo de pre-consolidación. En la norma ASTM D 4546 se presentan procedimientos para la determinación del potencial de expansión o asentamiento unidimensional de suelos cohesivos.*

- 10.2** Se coloca el consolidómetro en el aparato de carga y se aplica una carga de asiento que genere un esfuerzo axial total de alrededor de 5 kPa (100 lbf/pie<sup>2</sup>). Inmediatamente después de la aplicación de esta carga, se ajusta el deformímetro y se registra la deformación inicial,  $d_0$ . De ser necesario, se incrementa la carga de asiento para evitar la expansión. Por el contrario, si 5 kPa son suficientes para generar una consolidación significativa de la muestra, se deberá disminuir la carga de asiento para producir un esfuerzo axial total de 3 kPa (50 lbf/pie<sup>2</sup>) o menos. Si resulta necesario, se debe esperar a que la temperatura del consolidómetro se encuentre en el rango permitido,  $\pm 2^\circ\text{C}$ .

**10.3** Si el ensayo se efectúa sobre una muestra inalterada que fue saturada bajo condiciones de campo u obtenida bajo el nivel freático, se debe inundar con agua inmediatamente después de la aplicación de la carga de asiento e incrementar la carga rápidamente para evitar su expansión. Se registran la carga aplicada que se necesita para evitar el hinchamiento y la lectura de deformación resultante. Si la inundación de la muestra se hace para simular condiciones especiales, ésta se debe hacer con un esfuerzo axial total suficientemente alto para prevenir la expansión. En tales casos, se aplica la carga requerida y se inunda el espécimen. Se toman lecturas de deformación durante el período de inundación, de acuerdo con el procedimiento descrito en el numeral 10.5. En tales casos, se anota el esfuerzo total axial con inundación y la deformación axial resultante.

*Nota 15: El propósito de la inundación de la muestra es el de eliminar la interfaz aire-agua en la periferia del suelo, la cual puede causar presiones de poros negativas. La inundación no genera incremento del grado de saturación de la muestra y no se debe usar para decir que la muestra está completamente saturada.*

**10.4** La muestra se somete a incrementos de esfuerzo axial total constante. La duración de cada incremento estará de acuerdo con las guías del numeral 10.5. El programa de carga depende del objetivo del ensayo, pero debe cumplir las siguientes pautas:

**10.4.1** El programa estándar debe incluir una relación de incremento de carga (RIC) de 1.0, lo que logra duplicando el esfuerzo axial total aplicado sobre el suelo, para obtener valores alrededor de 12, 25, 50, 100, 200, etc., kPa (250, 500, 1000, 2000, etc. lbf/pie<sup>2</sup>).

**10.4.2** Cuando se requieran determinar la pendiente y la forma de la curva de compresión virgen o el valor del esfuerzo de pre-consolidación, el esfuerzo axial máximo total debe ser lo suficientemente alto para brindar, ya sea: (a) tres puntos que definan una línea recta cuando se dibujen los esfuerzos en una escala logarítmica (b) tres puntos que definan una curva cóncava cuando se dibujen los esfuerzos en una escala logarítmica, o (c) un nivel de esfuerzos que sea 8 veces el esfuerzo estimado de pre-consolidación. En caso de ser otros los objetivos del ensayo, el esfuerzo axial total máximo se fija de común acuerdo con el cliente.

**10.4.3** El programa de descarga o rebote se debe elegir de manera que se divida aproximadamente por dos el esfuerzo anterior aplicado a la muestra (usar el mismo nivel de esfuerzos del numeral 10.4.1, pero en orden inverso). Sin embargo, también se pueden aplicar cargas que

representen una cuarta parte de la anterior, omitiendo otros niveles de esfuerzo.

**10.4.4** Cuando se trata de arcillas sobreconsolidadas, se puede obtener una mejor evaluación de los parámetros de recompresión aplicando un ciclo de carga–descarga una vez se ha sobrepasado el esfuerzo de pre-consolidación. El cliente puede definir la magnitud del ciclo de carga y descarga como una especificación del ensayo, teniendo en cuenta que para la descarga se necesitan, al menos, dos decrementos de esfuerzo.

**10.4.5** Se puede emplear un programa alternativo de carga, descarga o recarga, que reproduzca cambios de esfuerzo o permita una mejor definición de alguna parte de la curva esfuerzo deformación unitaria axial (curva de compresión), o ayude en la interpretación del comportamiento del suelo in-situ o, sencillamente, sea especificada por el cliente.

*Nota 16: Se recomienda emplear pequeños incrementos sobre suelos altamente compresibles, así como para la determinación del esfuerzo de pre-consolidación con mayor precisión. No obstante, se debe tener en cuenta que el empleo de relaciones de incremento de carga menores que 0.7 e incrementos de carga muy cerca al esfuerzo de pre-consolidación pueden impedir la evaluación del coeficiente de consolidación,  $c_v$ , y el final de la consolidación primaria, como se explica en la Sección 11.*

**10.5** Antes de aplicar cada incremento de carga, se registra la altura o el cambio de la misma en la muestra,  $d_f$ . Existen dos procedimientos que especifican la secuencia en tiempo de las lecturas durante el incremento de carga y la duración mínima de éste. Frecuentemente, se requieren aplicaciones de carga más prolongadas durante determinados incrementos, con el fin de definir la pendiente de la línea recta característica de la compresión secundaria, a partir de la gráfica de deformación unitaria axial versus logaritmo del tiempo. Para tales incrementos, se deben tomar suficientes lecturas próximas a la finalización cada incremento. No es necesario aumentar la duración de otros incrementos de carga durante el ensayo.

**10.5.1 Método A** – El tiempo estándar de aplicación de cada incremento de carga es de 24 horas. Durante al menos dos incrementos de carga, incluyendo al menos uno después de exceder el esfuerzo de pre-consolidación, se debe anotar la deformación axial,  $d$ , a intervalos de tiempo de aproximadamente 0.1, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 15 y 30 minutos y 1, 2, 4, 8 y 24 horas (o 0.09, 0.25, 0.49, 1, 4, 9 minutos, etc., si se usa el procedimiento del numeral 11.5.2 para presentar la información de tiempo versus deformación), una vez se ha aplicado la carga. Se toman suficientes lecturas cuando el final de la duración del incremento está

cercano, para verificar que se ha terminado la consolidación primaria. En algunos suelos (ver numerales 11.5.1.1 y 11.5.2.3) es necesario emplear un período de carga mayor que 24 horas para completar la consolidación primaria. Para estos casos, la duración del incremento se toma como algún múltiplo de 24 horas y debe ser tomada como la duración estándar para todos los incrementos del ensayo. La decisión para usar un tiempo mayor se basa en la experiencia con determinados tipos de suelo. Si existe alguna duda sobre si 24 h es un período adecuado, se debe realizar un registro de deformación axial contra tiempo para los incrementos de carga iniciales, con fin de verificar la idoneidad del período de 24 h. Para incrementos de carga en los cuales no se necesite tomar datos de tiempo versus deformación, de todas maneras se deja la carga el mismo tiempo que cuando sí se necesita tomarlos.

**10.5.2 Método B** – Para cada incremento, se anota la deformación axial,  $d$ , a intervalos de tiempo de aproximadamente 0.1, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 15 y 30 minutos y 1, 2, 4, 8 y 24 horas (o 0.09, 0.25, 0.49, 1, 4, 9 minutos, etc., si se usa el procedimiento del numeral 11.5.2 para presentar la información de tiempo versus deformación), a partir del momento de aplicación de cada incremento de carga. La duración de cada incremento debe ser superior al tiempo requerido para completar la consolidación primaria, tal como se establece en los numerales 11.5.1.1, 11.5.2.3, o a criterio del cliente. Para cualquier incremento de carga en el cual sea imposible verificar el fin de la consolidación primaria (debido por ejemplo a baja relación de incremento de carga, alta sobreconsolidación durante los incrementos de recompresión o consolidación rápida), la duración del incremento de carga debe ser constante y debe exceder el tiempo requerido para conseguir la consolidación primaria de un incremento aplicado después del esfuerzo de pre-consolidación y a lo largo de la curva de compresión virgen. Cuando se necesite evaluar la compresión secundaria, se aumenta la duración del incremento de carga tanto como para definir su velocidad.

*Nota 17: Los intervalos de tiempo sugeridos para registrar la deformación axial, corresponden a suelos e incrementos de carga típicos. Muchas veces es necesario cambiar la frecuencia de las lecturas para mejorar la interpretación de los datos. Una consolidación más rápida requiere un mayor número de lecturas. Para la mayoría de los suelos, la consolidación primaria durante los primeros decrementos de carga se completará en menor tiempo (típicamente un décimo) que el requerido para un incremento de carga a lo largo de la curva de compresión virgen. Sin embargo, a muy bajos esfuerzos el tiempo de rebote puede ser mayor.*

- 10.6** Para minimizar el hinchamiento durante el desmonte, se lleva la muestra nuevamente hasta la carga de asiento (alrededor de 5 kPa de esfuerzo total axial). Cuando el cambio en la deformación axial se ha reducido a menos de 0.2 % por hora (usualmente durante la noche), se registra la deformación axial final del ensayo,  $d_{et}$ , se libera la carga final de asiento y se remueve rápidamente el consolidómetro del marco de carga. Se remueven del consolidómetro la muestra y el anillo y se seca cualquier agua presente en ellos.
- 10.7** Se mide la altura del espécimen,  $H_{et}$ , con una aproximación de 0.01 mm (0.001") tomando el promedio de al menos 4 medidas hechas con comparador de dial u otro aparato apropiado en diferentes puntos uniformemente espaciados en las superficies superior e inferior.
- 10.8** Se determina la masa total de la probeta,  $M_T$ , con aproximación de 0.01 g, midiendo primero el conjunto anillo-muestra y restando después la masa del anillo.
- 10.9** La manera más precisa de determinar la masa seca del espécimen y el contenido de agua es secando la muestra total al final del ensayo, de acuerdo con el procedimiento de la norma INV E-122. Si la muestra es homogénea y se dispone de material adicional suficiente producto del recorte o labrado de la muestra para realizar las pruebas de propiedades índice, entonces el contenido final de agua,  $w_f$ , y la masa de los sólidos,  $M_d$ , se determinan usando el espécimen completo. Si el suelo es heterogéneo o no sobra suficiente material para determinar dichas propiedades, entonces se toma una pequeña cuña de la muestra para determinar el contenido final de agua,  $w_f$ , y el resto se emplea para determinar las propiedades índice.

## 11 CÁLCULOS

---

- 11.1** Los cálculos mostrados emplean el sistema internacional de medidas. Se pueden emplear otras unidades si se utilizan los factores adecuados de conversión y se mantiene la consistencia a través de todos los cálculos.
- 11.1.1** En cada ecuación se emplea la unidad más conveniente para cada variable (por ejemplo, porcentaje o decimal, segundos o minutos, kilogramos o gramos).
- 11.1.2** Cuando se trabaja en diferentes unidades, es necesario calcular valores comparables para alcanzar el mismo número de dígitos significativos.

**11.2 Propiedades físicas de la muestra:****11.2.1** Se obtiene la masa seca de la muestra con la expresión:

$$M_d = \frac{M_{Tf}}{1 + w_{fp}} \quad [151.1]$$

Donde:  $M_d$ : Masa seca del espécimen total, g (aproximada a 0.01); $M_{Tf}$ : Masa total del espécimen después del ensayo, g (aproximada a 0.01); $w_{fp}$ : Contenido de agua de la cuña de espécimen tomada después del ensayo, en forma decimal (aproximación de 0.0001).**11.2.2** Se calculan los contenidos de agua (humedad) inicial y final del espécimen, en porcentaje, como sigue:

$$\text{Humedad inicial: } w_0 = \frac{M_{T_0} - M_d}{M_d} \times 100 \quad [151.2]$$

$$\text{Humedad final: } w_f = \frac{M_{Tf} - M_d}{M_d} \times 100 \quad [151.3]$$

Donde:  $w_0$ : Humedad o contenido inicial de agua, % (aproximación de 0.01); $w_f$ : Humedad o contenido inicial de agua, % (aproximación de 0.01); $M_d$ : Masa seca del espécimen, g; $M_{T_0}$ : Masa total del espécimen antes del ensayo, g.**11.2.3** Se calcula la densidad seca inicial del espécimen:

$$\rho_d = \frac{M_d}{V_0} \quad [151.4]$$

Donde:  $\rho_d$ : Densidad seca del espécimen, g/cm<sup>3</sup> (aproximada a 0.001);

$V_0$ : Volumen inicial del espécimen, cm<sup>3</sup> (aproximación 0.01).

**11.2.4** Se calcula el volumen de sólidos:

$$V_s = \frac{M_d}{G\rho_w} \quad [151.5]$$

Donde:  $V_s$ : Volumen de sólidos, cm<sup>3</sup> (aproximado a 0.01);

G: Gravedad específica de sólidos (aproximada a 0.001);

$\rho_w$ : Densidad del agua de poros (aproximada a 0.0001), g/cm<sup>3</sup>.

*Nota 18: La densidad del agua depende de la concentración de sal y de la temperatura. Los valores apropiados se deben extraer de tablas estándar.*

**11.2.5** Debido a que la sección transversal de la muestra es constante a través del ensayo, es conveniente introducir el término "altura equivalente de sólidos", definido así:

$$H_s = \frac{V_s}{A} \quad [151.6]$$

Donde:  $H_s$ : Altura de sólidos, cm (aproximada a 0.001);

A: Área del espécimen, cm<sup>2</sup>.

**11.2.6** Se calculan la relación de vacíos inicial y la relación de vacíos final, como sigue:



$$\text{Relación de vacíos inicial: } e_0 = \frac{H_0 - H_s}{H_s} \quad [151.7]$$

$$\text{Relación de vacíos final: } e_f = \frac{H_f - H_s}{H_s} \quad [151.8]$$

Donde:  $e_0$ : Relación de vacíos inicial (aproximada a 0.01);

$e_f$ : Relación de vacíos final (aproximada a 0.01);

$H_0$ : Altura inicial del espécimen, cm;

$H_f$ : Altura final del espécimen, cm.

**11.2.7** Se calculan el grado inicial y el grado final de saturación, en porcentaje, así:

$$\text{Grado de saturación inicial: } S_0 = \frac{(M_{T_0} - M_d)}{A \rho_w (H_0 - H_s)} \times 100 \quad [151.9]$$

$$\text{Grado de saturación final: } S_f = \frac{(M_{T_f} - M_d)}{A \rho_w (H_f - H_s)} \times 100 \quad [151.10]$$

Donde:  $S_0$ : Grado inicial de saturación, % (aproximación 0.1);

$S_f$ : Grado final de saturación, % (aproximación 0.1).

### 11.3 Cálculo de deformaciones:

**11.3.1** Para cada lectura de deformación, se calcula el cambio de altura del espécimen, en cm, como sigue:

$$\Delta H = d - d_0 - d_a \quad [151.11]$$

Donde:  $\Delta H$ : Cambio en la altura del espécimen, cm (aproximado a 0.00025);

- d: Lectura de deformación a varios tiempos en el ensayo, cm (aproximada a 0.00025);
- $d_0$ : Lectura de deformación inicial, cm (aproximada a 0.00025);
- $d_a$ : Corrección por la deformación del aparato, cm (aproximada a 0.00025).

*Nota 19: Remitirse a 7.1 para la corrección por compresibilidad del aparato.*

**11.3.2** Se representa cada medida de deformación en, al menos, una de las siguientes maneras:

**11.3.2.1** El cambio de altura del espécimen, calculado de acuerdo con 11.3.1.

**11.3.2.2** Se calcula la altura del espécimen, en cm, así:

$$H = H_0 - \Delta H \quad [151.12]$$

**11.3.2.3** Se calcula la relación de vacíos como sigue:

$$e = \frac{H - H_s}{H_s} \quad [151.13]$$

**11.3.2.4** Se calcula la deformación unitaria axial, en porcentaje, así:

$$\varepsilon = \frac{\Delta H}{H_0} \times 100 \quad [151.14]$$

**11.3.2.5** Se calcula el diferencial final de altura con la expresión:

$$H_d = H_f - H_{et} \quad [151.15]$$

Donde:  $H_d$ : Diferencial final de altura, cm (aproximada a 0.001);

$H_f$ : Altura final calculada usando  $d_{et}$ , cm (aproximada a 0.001);

$H_{et}$ : Altura final medida, cm (aproximada a 0.001).

**11.4** Se calcula el esfuerzo axial total, kPa:

$$\sigma_a = \left( \frac{P + M_a g}{A} \right) \times 10 \quad [151.16]$$

Donde:  $\sigma_a$ : Esfuerzo axial total, kPa (aproximado a la unidad);

$P$ : Fuerza aplicada, N (aproximada a la unidad);

$M_a$ : Masa del aparato que descansa sobre el espécimen, kg (aproximada a 0.01);

$A$ : Área del espécimen,  $\text{cm}^2$  (aproximada a 0.01);

$g$ : Aceleración de la gravedad,  $9.81 \text{ m/s}^2$ .

**11.5** *Propiedades tiempo–deformación* – A partir de aquellos incrementos de carga en los cuales se hizo lectura de tiempo-deformación, se generan dos alternativas (Ver numerales 11.5.1 y 11.5.2) para presentar los datos, determinar el final de la consolidación primaria y calcular la velocidad de consolidación. Se pueden usar otras técnicas de común acuerdo con el cliente y con estos métodos de ensayo. Las lecturas de deformación se pueden presentar como deformación medida, altura del espécimen, o deformación unitaria axial (Ver numeral 11.6). El siguiente texto y las siguientes figuras se presentan en términos de la deformación unitaria axial. Las letras en negrilla y entre paréntesis están asociadas a las gráficas.

**11.5.1** *Procedimiento 1 de interpretación* – Se dibuja la deformación unitaria axial,  $\epsilon$ , contra el logaritmo del tiempo, usualmente en minutos, para cada incremento de carga aplicado (ver Figura 151 - 1).

**11.5.1.1** Se traza una línea recta a través de los puntos que representan las últimas lecturas de tiempo y cuya tendencia es de línea recta y pendiente constante (**C**). Se dibuja una segunda línea recta, tangente a la parte más inclinada de la

curva logaritmo del tiempo versus deformación unitaria axial (**D**). La intersección de estas dos líneas representa la deformación unitaria axial (**E**),  $\epsilon_{100}$ , y el tiempo (**F**),  $t_{100}$ , correspondientes al 100 % de la consolidación primaria. El exceso de compresión por encima del 100 % de la consolidación primaria se conoce como compresión secundaria.

**11.5.1.2** Se encuentra la deformación unitaria axial que representa 0 % de la consolidación primaria (**K**), seleccionando cualesquier dos puntos que tengan una relación de tiempos de 1 a 4 (**puntos G y H en este ejemplo**). El incremento de deformación unitaria axial para el mayor de los tiempos estará entre  $\frac{1}{4}$  y  $\frac{1}{2}$  del total del incremento de deformación unitaria axial total para el incremento de carga en cuestión. La deformación unitaria axial correspondiente a 0 % de consolidación primaria es igual a la deformación unitaria axial correspondiente al tiempo menor, menos la diferencia en deformación unitaria axial (**I=J**) entre los dos puntos seleccionados.

**11.5.1.3** La deformación unitaria axial (**L**),  $\epsilon_{50}$ , correspondiente al 50 % de la consolidación primaria, es igual al promedio de las deformaciones axiales unitarias correspondientes al 0 y al 100 %. El tiempo (**M**),  $t_{50}$ , requerido para el 50 % de la consolidación, se puede hallar gráficamente a partir de la curva logaritmo del tiempo - deformación, observando el tiempo al cual corresponde el 50 % de la consolidación primaria sobre ella.

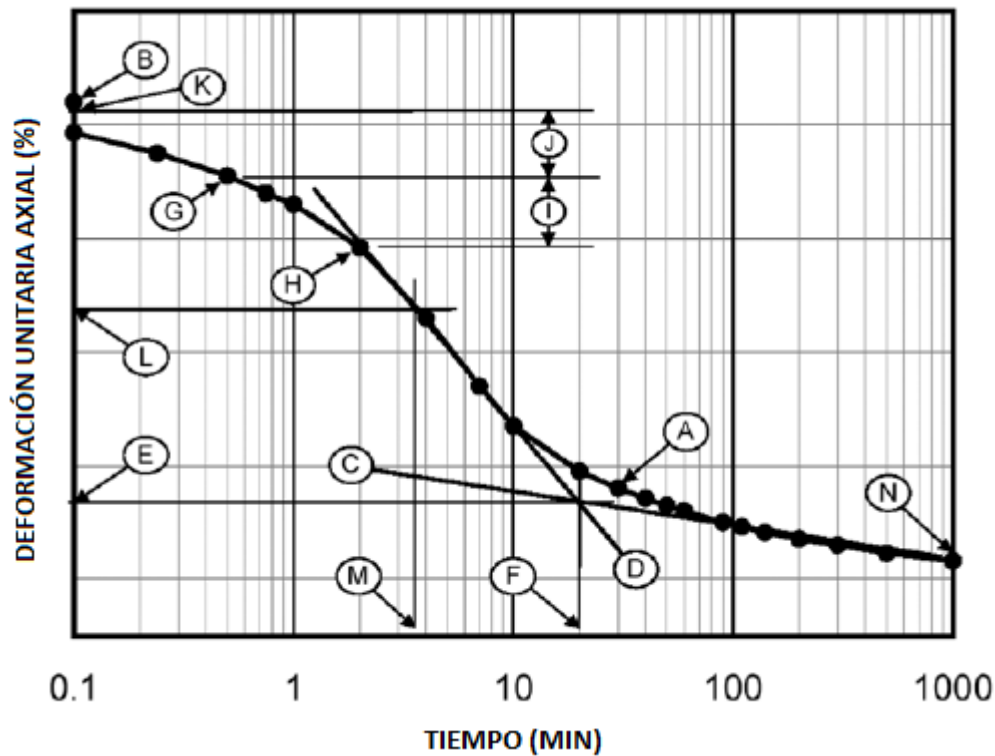
**11.5.2** *Procedimiento 2 de interpretación* – Se dibuja la curva deformación unitaria axial,  $\epsilon$ , contra la raíz cuadrada del tiempo, típicamente en minutos, para cada intervalo aplicable de carga (Ver Figura 151 - 2).

**11.5.2.1** Se dibuja una línea recta a través de los puntos que representan las lecturas iniciales de tiempo y que exhiben una tendencia de línea recta (**A**). Se extrapola la línea hacia  $t = 0$  y se obtiene la deformación unitaria axial que representa el 0 % de la consolidación primaria (**B**).

**11.5.2.2** Se traza una segunda línea recta a través de la ordenada 0 %, de tal manera que la abscisa correspondiente (**C**) sea 1.15

veces la abscisa de la primera línea recta para todos los datos; es decir, se construye una línea recta que parta de **(B)** y que tenga una pendiente de 1.15 veces la pendiente de la línea **A**. La intersección de esta segunda línea con la curva (Ver numeral 11.5.2) define la deformación unitaria axial,  $\epsilon_{90}$ , **(D)**, y el tiempo  $t_{90}$ , **(E)**, correspondientes al 90 % de la consolidación primaria.

**11.5.2.3** La deformación unitaria axial al 100 % de la consolidación **(F)** es 1/9 mayor que la diferencia en deformación unitaria axial entre 0 y 90 % de consolidación. El tiempo de consolidación primaria **(G)**,  $t_{100}$ , se puede tomar en la intersección de la curva deformación unitaria axial-raíz cuadrada del tiempo y esta ordenada de deformación axial. La deformación unitaria axial **(H)**,  $\epsilon_{50}$ , correspondiente al 50 % de consolidación, es igual a la deformación unitaria axial a los 5/9 de la diferencia entre 0 y 90 % de consolidación. El tiempo para el 50% de consolidación **(I)**,  $t_{50}$ , corresponde a la intersección de curva deformación unitaria axial-raíz cuadrada del tiempo con la ordenada de deformación 50 %.



- A – CURVA ESFUERZO –DEFORMACIÓN UNITARIA TRAZADA SOBRE LOS PUNTOS DEL ENSAYO  
 B - DEFORMACIÓN A TIEMPO = 0 MINUTOS  
 C - AJUSTE LINEAL DE LA PORCIÓN FINAL DE LA CURVA  
 D - AJUSTE LINEAL DE LA PORCIÓN MÁS INCLINADA DE LA CURVA  
 E - LECTURA DE DEFORMACIÓN UNITARIA EN LA INTERSECCIÓN DE LAS LÍNEAS C Y D, CORRESPONDIENTE AL 100 % DE CONSOLIDACIÓN  
 F - LECTURA DE TIEMPO EN LA INTERSECCIÓN DE LAS LÍNEAS C Y D, CORRESPONDIENTE AL 100 % DE CONSOLIDACIÓN  
 G - PRIMER PUNTO SELECCIONADO PARA LA INTERPRETACIÓN DEL 0 % DE LA CONSOLIDACIÓN  
 H - SEGUNDO PUNTO PARA LA INTERPRETACIÓN, CORRESPONDIENTE A UN TIEMPO CUATRO VECES MÁS QUE EL DEL PUNTO G  
 I - INCREMENTO DE LA DEFORMACIÓN UNITARIA ENTRE LOS PUNTOS H Y G  
 J - INCREMENTO DE DEFORMACIÓN UNITARIA IGUAL A I  
 K - DEFORMACIÓN DEDUCIDA PARA EL COMIENZO DE LA CONSOLIDACIÓN  
 L - DEFORMACIÓN AL 50 % DE LA CONSOLIDACIÓN, IGUAL A LA MEDIA ENTRE K Y E  
 M - TIEMPO CORRESPONDIENTE AL 50 % DE LA CONSOLIDACIÓN  
 N - DEFORMACIÓN UNITARIA Y TIEMPO PARA LA ÚLTIMA LECTURA DEL INCREMENTO

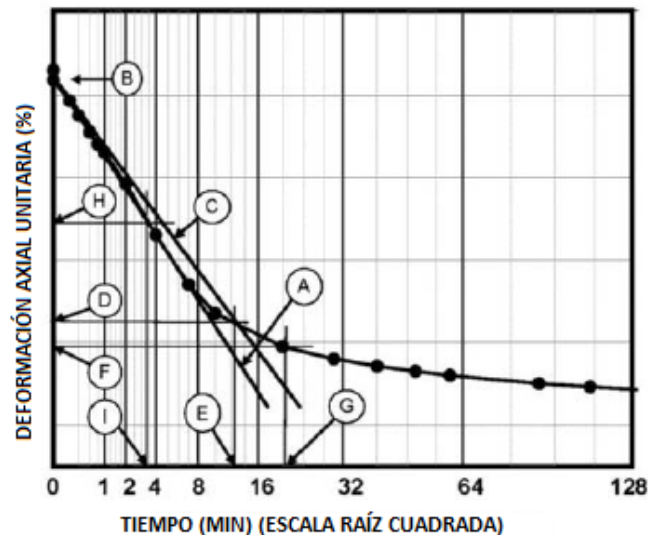
Nota: Esquema sin escala

Figura 151 - 1. Curva tiempo-deformación usando el método del logaritmo del tiempo

**11.5.3** Se calcula el coeficiente de consolidación para cada incremento de carga, usando la siguiente ecuación y los valores apropiados de acuerdo con el método de interpretación escogido:

$$c_v = \frac{T H_{D50}^2}{t} \quad [151.17]$$

- Donde:  $c_v$ : Coeficiente de consolidación,  $\text{cm}^2/\text{s}$  (3 dígitos significativos);
- T: Un factor adimensional de tiempo: para el procedimiento descrito en el numeral 11.5.1, se usa 50 % de consolidación, con  $T = T_{50} = 0.197$ ; para el procedimiento descrito en el numeral 11.5.2, se usa 90 % de consolidación con  $T = T_{90} = 0.848$ ;
- t: Tiempo correspondiente al grado específico de consolidación, s; para el procedimiento descrito en el numeral 11.5.1, se usa  $t = t_{50}$ ; para el procedimiento descrito en el numeral 11.5.2 se usa  $t = t_{90}$ ;
- $H_{D50}$ : Longitud de la trayectoria de drenaje al 50 % de consolidación, cm; para drenaje por las dos caras,  $H_{D50}$  es la mitad de la altura del espécimen al incremento apropiado; para drenaje por una sola cara,  $H_{D50}$  es la altura completa.



- A – AJUSTE LINEAL DE LOS PRIMEROS DATOS TOMADOS
- B - EXTENSIÓN DE LA LÍNEA "A" AL TIEMPO = 0 MINUTOS
- C - LÍNEA CONSTRUIDA CON UNA PENDIENTE DE 1.15 VECES LA DE LA LÍNEA A
- D - DEFORMACIÓN LEÍDA EN LA INTERSECCIÓN DE LA LÍNEA C CON LA CURVA TRAZADA SOBRE LOS DATOS
- E - TIEMPO LEÍDO EN LA INTERSECCIÓN DE LA LÍNEA C CON LA CURVA TRAZADA SOBRE LOS DATOS
- F - DEFORMACIÓN CORRESPONDIENTE AL 100 % DE CONSOLIDACIÓN
- G - TIEMPO CORRESPONDIENTE AL 100 % DE CONSOLIDACIÓN
- H - DEFORMACIÓN UNITARIA CORRESPONDIENTE AL 50% DE CONSOLIDACIÓN
- I - TIEMPO CORRESPONDIENTE AL 50 % DE CONSOLIDACIÓN

Nota: Esquema sin escala

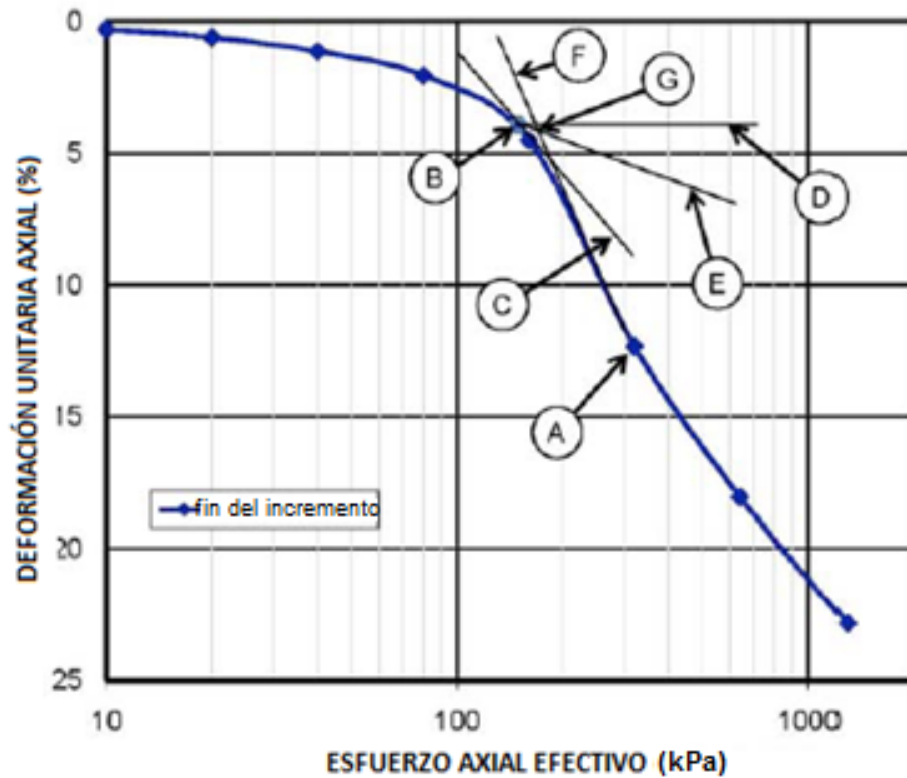
Figura 151 - 2. Curva tiempo–deformación usando el método de la raíz cuadrada del tiempo

### 11.6 Propiedades carga–deformación:

- 11.6.1** Se tabulan las lecturas de deformación o de cambio de deformación,  $d_f$ , correspondientes al final de cada incremento  $y$ , si está usando el método de ensayo B, los correspondientes al final de la consolidación primaria,  $d_{100}$ .
- 11.6.2** Se dibujan los resultados de deformación correspondientes al final de cada incremento (en la Figura 151 - 3 están en términos de deformación unitaria axial)  $y$ , si está usando el método B, los correspondientes al final de la consolidación primaria versus el esfuerzo en escala logarítmica.

Nota 20: En algunos casos, es preferible presentar la curva carga-deformación en escala aritmética.





- A - DEFORMACIÓN TRAZADA SOBRE LOS PUNTOS TOMADOS
- B - PUNTO DE MÁXIMA CURVATURA
- C - LÍNEA TANGENTE A LA CURVA EN EL PUNTO B
- D - LÍNEA HORIZONTAL A TRAVÉS DEL PUNTO B
- E - LÍNEA BISECTRIZ DEL ÁNGULO FORMADO POR C Y D
- F - LÍNEA TANGENTE A LA PORCIÓN MÁS INCLINADA DE LA CURVA
- G - ESFUERZO DE PRECONSOLIDACIÓN, LEÍDO EN LA INTERSECCIÓN DE LAS LÍNEAS E Y F

Figura 151 - 3. Evaluación del esfuerzo de pre-consolidación por el método de Casagrande

**11.6.3** Con referencia a la Figura 151 - 3, se determina el valor del esfuerzo de pre-consolidación usando el procedimiento que se describe a continuación:

*Nota 21: Se puede emplear otro método reconocido para estimar el esfuerzo de pre-consolidación, pero identificándolo claramente en el informe.*

**11.6.3.1** Se traza una curva suave a través de los puntos.

**11.6.3.2** Se estima el punto de máxima curvatura sobre la curva de compresión (**B**).

**11.6.3.3** Se dibuja la tangente a la curva de compresión en este punto (**C**), y se traza una línea horizontal (**D**) partiendo también del

punto **(B)**. Se prolongan las líneas **C** y **D** hacia la derecha (en el sentido creciente de las abscisas).

**11.6.3.4** Se traza una línea **(E)**, que bisecte el ángulo formado entre las dos líneas **C** y **D**.

**11.6.3.5** Se dibuja una línea recta tangente a la porción lineal más inclinada de la curva de compresión (brazo de compresión virgen) **(F)**, y se prolonga hacia arriba hasta que se corte con la línea bisectriz **(E)**. El punto de corte se llamará **(G)**. La abscisa correspondiente a este punto de intersección será el esfuerzo estimado de pre-consolidación.

**11.6.4** La evaluación completa incluye, a menudo, la consideración de información que no está al alcance del laboratorio que realiza el ensayo de consolidación. Por esta razón, cualquier evaluación adicional que se presente solo tiene carácter informativo.

## 12 INFORME

---

**12.1** Debe incluir, cuando menos, la siguiente información:

**12.1.1** Nombre del proyecto, localización, número de la perforación, número de la muestra y profundidad.

**12.1.2** Número del ensayo, datos de inicio, aparatos y técnico encargado del ensayo.

**12.1.3** Descripción y clasificación del suelo de acuerdo con las normas INV E-102 e INV E-181, cuando se dispone de los límites de Atterberg. Se deben incluir, si están disponibles, los resultados de los ensayos de gravedad específica, límites de Atterberg y distribución granulométrica de la muestra, así como la fuente de esta información si es otra diferente de la obtenida sobre el espécimen de ensayo. Se debe anotar, también, el tamaño de las partículas aisladas de gran tamaño halladas en el espécimen.

**12.1.4** *Condición del suelo:*

**12.1.4.1** Contenido de humedad promedio de los recortes producto del tallado de la muestra, si está disponible.

- 12.1.4.2** Contenidos de humedad inicial y final del espécimen.
  - 12.1.4.3** Densidad seca inicial del espécimen.
  - 12.1.4.4** Relaciones de vacíos inicial y final del espécimen.
  - 12.1.4.5** Grados de saturación inicial y final del espécimen.
  - 12.1.4.6** Diferencia final de altura.
  - 12.1.4.7** Esfuerzo estimado de pre-consolidación.
- 12.1.5** *Procedimiento de ensayo:*
- 12.1.5.1** Procedimiento de labrado para la preparación del espécimen; especificar si la probeta fue recortada con una plataforma giratoria, usando una zapata de corte o ensayado directamente en un anillo a partir del anillo del tomamuestras.
  - 12.1.5.2** Condición del ensayo (a humedad natural o inundado, esfuerzo medido en la inundación, agua de ensayo).
  - 12.1.5.3** Método de ensayo (A o B).
  - 12.1.5.4** Procedimiento de interpretación (1 o 2, o ambos) empleado para encontrar el coeficiente de consolidación.
  - 12.1.5.5** Lista de los incrementos de carga y su duración, si fue diferente de 24 horas; resultados de deformación final para cada incremento y, para el método B, resultados de la deformación primaria final y coeficiente de consolidación (Ver Tabla 151 - 1).
  - 12.1.5.6** Todas las desviaciones con respecto al procedimiento establecido, incluyendo las secuencias de carga especiales.
- 12.1.6** *Representaciones gráficas:*
- 12.1.6.1** Gráficas de deformación unitaria axial contra el logaritmo del tiempo (Figura 151 - 1) o raíz cuadrada del tiempo (Figura 151

- 2), para aquellos incrementos de carga en los que se tomaron lecturas.

**12.1.6.2** Curva de “relación de vacíos versus esfuerzo axial” (en escala logarítmica) o curva de “porcentaje de compresión versus esfuerzo axial” (en escala logarítmica). Ver Figura 151 - 3.

**12.1.6.3** En los casos en los cuales se toman lecturas de la tasa de deformación en el tiempo para varios incrementos de carga, se debe preparar una gráfica de logaritmo de coeficiente de consolidación versus la relación de vacíos promedio o el porcentaje promedio de compresión para los respectivos incrementos de carga (Figura 151 - 4). Se puede anexar, de manera alternativa, una gráfica del coeficiente de consolidación o de su logaritmo versus el logaritmo del esfuerzo promedio axial. Si las lecturas de tiempo se obtuvieron solo para dos incrementos, simplemente se tabula el valor de  $c_v$  contra el esfuerzo promedio axial para el incremento.

*Nota 22: Se escoge el esfuerzo promedio entre dos incrementos de carga, por cuanto representa una coordenada conveniente para dibujar el resultado. A menos que se mida la velocidad de disipación de la presión de poros, no es posible determinar el esfuerzo efectivo real al momento del 50 % de la consolidación. Además, se puede generar ambigüedad en los casos en los cuales el ensayo ha incluido uno o más ciclos intermedios de rebote.*

## 13 PRECISIÓN Y SESGO

---

**13.1** *Precisión* – Debido a la naturaleza de los materiales de suelo empleados para este ensayo, no es factible, o resulta demasiado costoso, producir simultáneamente múltiples especímenes con propiedades físicas uniformes. Cualquier variación que se observe en los datos se puede deber a variación del espécimen o en los procedimientos del operario o del laboratorio.

**13.2** *Sesgo* – No hay valores de referencia aceptables para este método de ensayo, de allí que no se puede determinar el sesgo.

## 14 NORMAS DE REFERENCIA

---

ASTM D 2435M – 11.

Tabla 151 - 1. Ejemplo de un resumen del ensayo de consolidación

Incremento de carga	Esfuerzo axial $\sigma_a$ (kPa)	Deformación corregida $\Delta H$ (mm)	Altura de la muestra H (mm)	Deformación unitaria axial $e_a$ (%)	Relación de vacíos $\theta$	Deformación corregida $\Delta H_{50}$ (mm)	Altura de la muestra $H_{50}$ (mm)	Deformación unitaria axial $e_{a,50}$ (%)	Relación de vacíos $\theta_{50}$	Tiempo $t_{50}$ (sec)	Coeficiente de consolidación $C_v$ (mm <sup>2</sup> /sec)	Tiempo $t_{50}$ (sec)	Coeficiente de consolidación $C_v$ (mm <sup>2</sup> /sec)
Asiento	soating	0.0000	19.0500	0.00	1.231								
1	5	0.0288	19.0212	0.15	1.228								
2	10	0.0557	18.9943	0.29	1.225								
3	20	0.1133	18.9367	0.59	1.218								
4	40	0.2139	18.8361	1.12	1.206	0.2696	18.7804	1.42	1.200	52	3.34E-01	10	3.94E-01
5	80	0.3867	18.6833	2.03	1.186	0.5355	18.5145	2.81	1.169	144	1.17E-01	30	1.17E-01
6	160	0.8560	18.1940	4.49	1.131	1.5439	17.5061	8.10	1.050	516	2.93E-02	102	2.93E-02
7	320	2.3496	16.7004	12.33	0.956	2.8317	16.2183	14.86	0.900	282	4.59E-02	53	4.59E-02
8	640	3.4392	15.6108	18.05	0.828	3.8223	15.2277	20.06	0.784	156	7.32E-02	31	7.32E-02
9	1280	4.3440	14.7060	22.80	0.722								
10	320	4.2553	14.7947	22.34	0.733								
11	80	3.9300	15.1200	20.63	0.771								
12	20	3.5131	15.5369	18.44	0.820								
13	5	3.0981	15.9519	16.26	0.868								

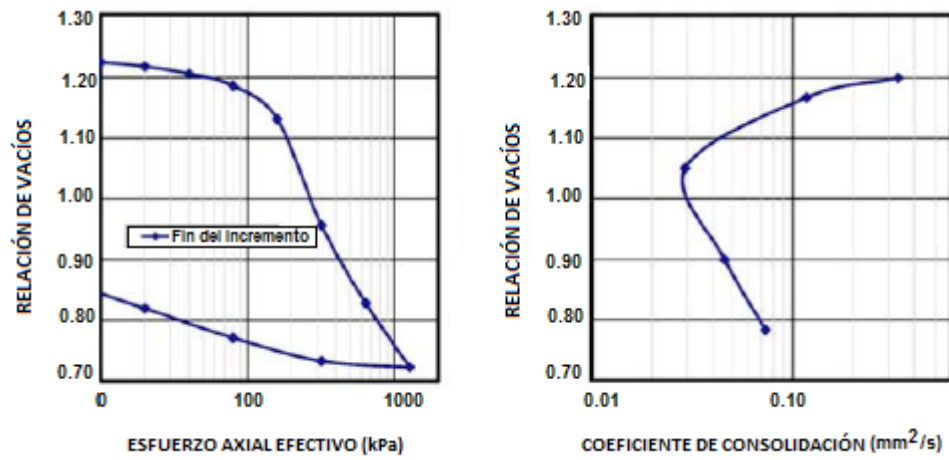


Figura 151 - 4. Ejemplo de gráficas realizadas a partir del ensayo de consolidación

# COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELOS

INV E – 152 – 13

## 1 OBJETO

---

- 1.1** Esta norma describe el ensayo para determinar la resistencia a la compresión no confinada de suelos cohesivos, mediante la aplicación de una carga axial con control de deformación. El ensayo se puede realizar sobre muestras inalteradas, remoldeadas o compactadas.
- 1.2** Este método de ensayo da un valor aproximado de la resistencia de los suelos cohesivos en términos de esfuerzos totales.
- 1.3** Este método de ensayo es aplicable solo a materiales cohesivos que no expulsan agua durante la etapa de carga del ensayo y que mantienen su resistencia intrínseca después de remover las presiones de confinamiento, como las arcillas o los suelos cementados. Los suelos secos y friables, los materiales fisurados o estratificados, los limos, las turbas y las arenas no se pueden analizar por este método para obtener valores válidos de la resistencia a la compresión inconfinada.

*Nota 1: La determinación de la resistencia de los suelos cohesivos con confinamiento lateral, sin consolidación previa y sin drenaje, está regulada por la Norma INV E-153*

- 1.4** Esta norma reemplaza la norma INV E-152-07.

## 2 DEFINICIONES

---

- 2.1** Los siguientes términos son específicos a esta norma de ensayo:

- 2.1.1** *Resistencia a la compresión inconfinada ( $q_u$ )* – Mínimo esfuerzo compresivo al cual falla una muestra no confinada de suelo, de forma cilíndrica, en condiciones normalizadas. En este método, la resistencia a la compresión inconfinada se toma como la máxima carga por unidad de área alcanzada durante el ensayo, o la carga por unidad de área cuando se alcanza el 15 % de deformación axial, lo que ocurra primero, durante la ejecución del ensayo.

- 2.1.2 Resistencia al corte ( $S_u$ )** – Para los especímenes sometidos al ensayo de resistencia a la compresión inconfiada, la resistencia al corte se define como:

$$S_u = 0.5 \times q_u \quad [152.1]$$

### 3 IMPORTANCIA Y USO

---

- 3.1** El objetivo básico del ensayo de compresión inconfiada es obtener, de manera rápida, un valor de la resistencia a la compresión de aquellos suelos que tienen la cohesión suficiente para ser ensayados en condición inconfiada.
- 3.2** Muestras de suelos con estructuras pulidas o fisuradas, algunos tipos de loess, arcillas muy blandas, suelos secos y friables y materiales estratificados, o muestras que contienen una cantidad significativa de limo o arena, o ambos (todos los cuales exhiben propiedades normalmente cohesivas), presentan frecuentemente una mayor resistencia al corte cuando se ensayan de acuerdo con la norma INV E-153. También, los suelos no saturados presentan, normalmente, resistencias al corte diferentes cuando se ensayan de acuerdo con la Norma INV E-153.
- 3.3** La sensibilidad del material se puede determinar si se llevan a cabo ensayos sobre la misma muestra en condiciones inalterada y alterada. Este método de determinación de la sensibilidad es adecuado solo para suelos que pueden mantener una forma estable en estado remoldeado.

*Nota 2: Para los suelos que no mantienen una forma estable, se puede utilizar un ensayo de resistencia al corte con veleta o el método de la norma INV E-153 para determinar su sensibilidad.*

### 4 EQUIPO

---

- 4.1 Aparato de compresión** – El aparato de compresión puede ser una báscula de plataforma equipada con un marco de carga activado con un gato de tornillo; un mecanismo de carga hidráulica, o cualquier otro instrumento de compresión con suficiente capacidad de control para proporcionar la velocidad de carga prescrita en el numeral 6.1. En lugar de la báscula de plataforma, la carga puede ser medida con un anillo o una celda de carga fijada al marco. Para suelos cuya resistencia a la compresión inconfiada sea menor de 100 kPa (1 kgf/cm<sup>2</sup>), el aparato de compresión debe ser capaz de medir los



esfuerzos compresivos con una precisión de 1 kPa (0.01 kgf/cm<sup>2</sup>); para suelos con una resistencia a la compresión inconfiada igual o mayor de 100 kPa (1 kgf/cm<sup>2</sup>), el aparato de compresión debe ser capaz de medir los esfuerzos compresivos con una precisión de 5 kPa (0.05 kgf/cm<sup>2</sup>).

- 4.2** *Extractor de muestra* – Capaz de extraer el núcleo de suelo del tubo de muestreo a una velocidad uniforme y con mínima alteración, en la misma dirección en que la muestra entró al tubo. Las condiciones en el momento de la extracción de la muestra pueden indicar la dirección de su extracción, pero la principal preocupación es mantener en un mínimo su grado de alteración.
- 4.3** *Indicador de deformaciones* – Debe ser un comparador de carátula, graduado a 0.03 mm (0.001") o mejor, que tenga un rango de medición de, por lo menos, 20 % de la longitud del espécimen para el ensayo, o algún otro instrumento de medición, como un transductor que cumpla estos requerimientos.
- 4.4** *Micrómetro con dial comparador* – U otro instrumento adecuado para medir las dimensiones físicas del espécimen, dentro del 0.1 % de la dimensión medida.
- Nota 3: Los calibradores vernier no son recomendados para especímenes blandos, ya que éstos se deforman cuando el calibrador se coloca sobre ellos.*
- 4.5** *Cronómetro* – Que indique el tiempo transcurrido con una precisión de 1 s, para controlar la velocidad de aplicación de deformación prescrita en el numeral 6.1.
- 4.6** *Balanza* – La balanza usada para pesar los especímenes debe determinar su masa con una precisión de 0.1 % de su masa total.
- 4.7** *Equipo para la determinación del contenido de humedad* – Como se especifica en la norma INV E-122.
- 4.8** *Equipo misceláneo* – Que incluye las herramientas para cortar y labrar la muestra, instrumentos para remoldearla, formatos para anotar los datos, etc.

## 5 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

---

- 5.1** *Tamaño de las muestras* - Los especímenes deben tener un diámetro mínimo de 30 mm (1.3") y la mayor partícula contenida en ellos debe ser menor que

1/10 del diámetro del espécimen. Para muestras que tengan un diámetro de 72 mm (2.8") o mayores, el tamaño máximo de partícula debe ser menor que 1/6 del diámetro del espécimen. Si después de terminar un ensayo sobre una muestra inalterada se encuentra, con base en la observación directa, que había partículas mayores que las permitidas, esta información se debe anotar en la sección de observaciones del informe (nota 4). La relación de altura/diámetro se debe encontrar entre 2 y 2.5. Se determinan la altura y el diámetro promedios de la muestra para el ensayo, utilizando el instrumento especificado en el numeral 4.4. Se debe tomar un mínimo de 3 mediciones de la altura (separadas 120°) y, por lo menos, tres del diámetro, igualmente espaciadas a lo largo de la generatriz del cilindro.

*Nota 4: Si se encuentran partículas de suelo grandes en la muestra después del ensayo, se debe hacer un análisis granulométrico de acuerdo con la norma INV E-123, para confirmar la observación visual; los resultados de este ensayo se deben incluir en el informe del ensayo.*

- 5.2 Muestras inalteradas** – Se preparan los especímenes inalterados a partir de muestras obtenidas de acuerdo con las normas INV E-104 o INV E-105, y preservadas y transportadas de acuerdo con las directrices para el grupo de muestras C de la norma INV E-103. Las muestras de tubo se pueden ensayar sin labrar, excepto sus extremos, si las condiciones de la muestra justifican este procedimiento. Las muestras se deben manejar cuidadosamente para prevenir cualquier alteración, cambios en la sección transversal o pérdidas en el contenido de agua. Si el aparato de extracción puede causar compresión o cualquier otro tipo de alteración notoria de la muestra, el tubo de muestreo se debe dividir a lo largo o cortar en secciones pequeñas para facilitar la remoción del espécimen con una alteración mínima. Siempre que sea posible, se deben preparar los especímenes labrados a partir de muestras intactas de mayor tamaño, en un cuarto con humedad controlada. Se debe hacer todo lo posible para prevenir cualquier cambio en el contenido de agua del suelo. Los especímenes deben tener una sección transversal circular uniforme, con sus extremos perpendiculares al eje longitudinal de la muestra. Cuando se recorte o labre una muestra, se debe remover cualquier guijarro pequeño o conchilla que se encuentre. Se llenan cuidadosamente los vacíos en la superficie del espécimen empleando suelo remoldeado, obtenido de los recortes. Si la presencia de guijarros o el desmoronamiento dan lugar a una irregularidad excesiva en los extremos de la muestra, éstos se deberán emparejar con un espesor mínimo de yeso de Paris, cemento, o un material similar. Si la condición de la muestra lo permite, se puede utilizar un torno vertical que acomode la muestra completa, como una ayuda para el labrado de la muestra, hasta alcanzar el diámetro requerido. Cuando se considere importante la prevención del desarrollo de fuerzas de capilaridad, el espécimen se deberá sellar con una membrana de caucho con un recubrimiento de plástico delgado

o con un recubrimiento de grasa o de plástico pulverizado, inmediatamente después de la preparación y durante todo el ensayo. Se determinan las dimensiones y la masa de la muestra para el ensayo. Si el espécimen debe ser emparejado en sus extremos con yeso o cemento, su masa y sus dimensiones se deben determinar antes del emparejamiento. Si la muestra completa no se va a utilizar en la determinación del contenido de agua, se toma una muestra representativa de los cortes para este objeto, y se coloca inmediatamente en una cápsula cubierta. El contenido de agua se debe determinar de acuerdo con la norma INV E-122.

- 5.3** *Muestras remodeladas* – Las muestras remodeladas se pueden preparar a partir de una muestra inalterada o a partir de una muestra alterada, siempre y cuando sea representativa de la muestra inalterada fallada. En el caso de las muestras inalteradas falladas, se envuelve el material en una membrana de caucho delgado y se amasa completamente el material con los dedos para asegurar un remoldeo completo. Se debe evitar que quede aire atrapado en la muestra. Se debe tener cuidado, con el fin de obtener una muestra de densidad uniforme, con la misma relación de vacíos de la muestra inalterada y con el mismo contenido natural de agua. Se moldea el material alterado en un molde de sección transversal circular, cuyas dimensiones cumplan los requerimientos del numeral 5.1. Después de retirarlo del molde, se determinan la masa y las dimensiones del espécimen para el ensayo.
- 5.4** *Muestras compactadas* – Las muestras se deben preparar con un contenido de agua predeterminado y con la densidad prescrita por quien solicita el ensayo (nota 5). Después de preparada la muestra, se recortan los extremos perpendicularmente al eje longitudinal, se retira del molde donde se compactó y se determinan su masa y sus dimensiones.

*Nota 5: La experiencia indica que es difícil compactar, manejar y obtener resultados válidos con especímenes cuyo grado de saturación sea mayor de 90 %.*

## 6 PROCEDIMIENTO

---

- 6.1** El espécimen, previamente medido y pesado, se coloca en el aparato de carga de tal manera que quede centrado sobre la platina inferior. A continuación, se ajusta el instrumento de carga cuidadosamente, de modo que la platina superior apenas haga contacto con el espécimen y se lleva a cero el indicador de deformación.

- 6.2** Se aplica la carga para que se produzca una deformación axial a una velocidad de ½ a 2.5 % por minuto. Se registran los valores de carga, deformación y tiempo a intervalos suficientes para definir la curva esfuerzo-deformación (normalmente son suficientes 10 a 15 puntos). La velocidad de deformación se debe escoger de manera que el tiempo necesario para la falla no exceda de 15 minutos (nota 6).

*Nota 6: Los materiales blandos que presentan grandes deformaciones en la falla, se deben ensayar con una mayor velocidad de deformación. Por el contrario, los materiales rígidos o frágiles que presentan deformaciones pequeñas en el momento de la falla se deben ensayar con una velocidad de deformación menor.*

- 6.3** Se continúa aplicando carga hasta que los valores de carga decrezcan al aumentar la deformación, o hasta que se alcance una deformación igual a 15 %. Se anota la velocidad de deformación en el informe de los datos de ensayo.
- 6.4** Terminado el ensayo, se determina el contenido de agua de la muestra de ensayo utilizando todo el espécimen, a menos que se hayan obtenido recortes representativos para este fin, como en el caso de las muestras inalteradas. Se menciona en el informe de ensayo si la muestra para determinar el contenido de humedad se tomó antes o después del ensayo de compresión
- 6.5** Se hace un esquema o se toma una fotografía de la muestra en las condiciones de falla, mostrando el ángulo de inclinación de la superficie de rotura, si dicho ángulo es medible.
- 6.6** En el Anexo A se incluye un ejemplo de formato para la anotación de los datos del ensayo. Se puede usar cualquier otro tipo de formato, siempre que contenga todos los datos requeridos. Los valores de las 5 primeras columnas del formato se deben llenar a medida que se realiza el ensayo.

## 7 CÁLCULOS

---

- 7.1** Se calcula la deformación axial,  $\epsilon_1$ , al 0.1 % más cercano, para cada carga de interés, y se anota en la casilla correspondiente de la columna 6 del formato del Anexo A. La fórmula a emplear es la siguiente:

$$\epsilon_1 = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100 \quad [152.2]$$

Donde:  $\Delta L$ : Cambio de longitud del espécimen, obtenido a partir de las

lecturas del indicador de deformaciones o calculado por un dispositivo electrónico (columna 5 del formato del Anexo A), mm (pg.);

$L_0$ : Longitud inicial del espécimen de ensayo, mm (pg.).

- 7.2** Se calcula el área de la sección transversal media,  $A$ , para una carga aplicada dada, como sigue (el valor obtenido se anota en la casilla correspondiente de la columna 7 del formato del Anexo A):

$$A = \frac{A_0}{\left[1 - \frac{\epsilon_1}{100}\right]} \quad [152.3]$$

Donde:  $A_0$ : Área media inicial de la sección transversal de la muestra,  $\text{mm}^2$  ( $\text{pg}^2$ );

$\epsilon_1$ : Deformación axial para una carga dada, %.

- 7.3** Para cada carga de interés se calcula el esfuerzo compresivo,  $\sigma_c$ , con tres cifras significativas o con una precisión de 1 kPa (0.01  $\text{kgf}/\text{cm}^2$ ), y se anota en la casilla correspondiente de la última columna del formato del Anexo A. La ecuación por utilizar es la siguiente:

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad [152.4]$$

Donde:  $P$ : Carga aplicada (columna 3 del formato del Anexo A), kN (lbf);

$A$ : Área media correspondiente de la sección transversal,  $\text{mm}^2$  ( $\text{pg}^2$ ).

- 7.4** *Gráfico* – Si se desea, se puede dibujar un gráfico que muestre la relación entre los esfuerzos de compresión (en las ordenadas) y la deformación axial (en las abscisas) (Figura 152 - 1). Se selecciona el valor del esfuerzo de compresión máximo, o el esfuerzo de compresión al 15 % de deformación axial, lo que se alcance primero, y se anota como la resistencia a la compresión inconfiada,  $q_u$ . Cuando se considere necesario para una adecuada interpretación, se incluye la tabla de los datos esfuerzo–deformación, como una parte de los datos del informe.

- 7.5 Si se determinan las resistencias a la compresión sobre el suelo inalterado y remoldeado, se calcula la sensibilidad,  $S_T$ , como sigue:

$$S_T = \frac{q_u \text{ (muestra inalterada)}}{q_u \text{ (muestra remoldeada)}} \quad [152.5]$$

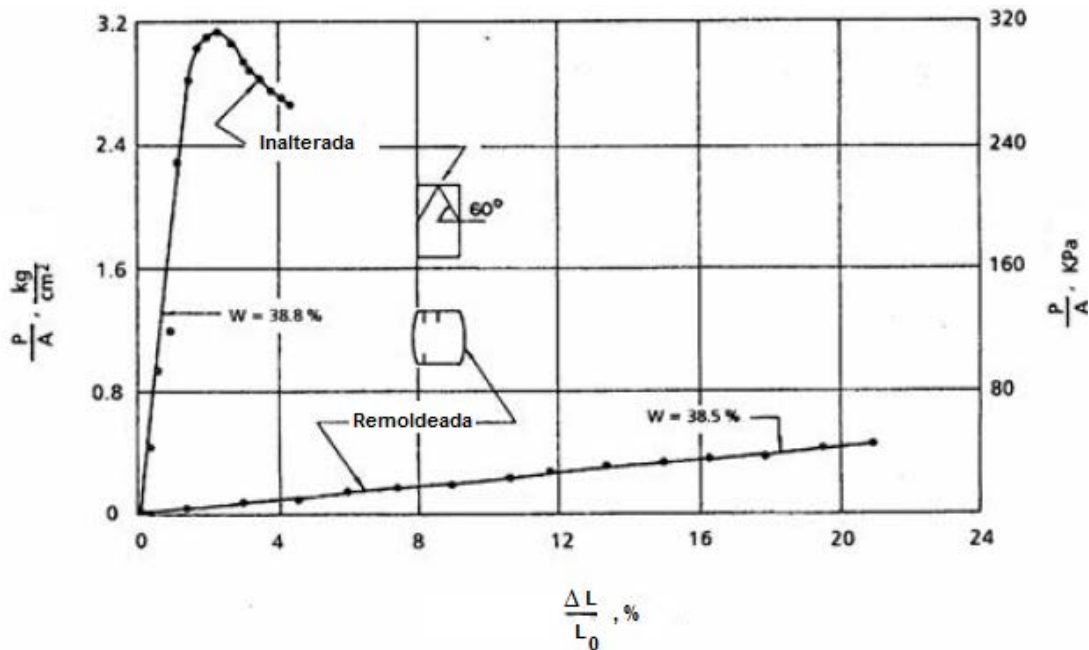


Figura 152 - 1. Gráfico deformación- esfuerzo en el ensayo de compresión inconfiada

## 8 INFORME

- 8.1 El informe debe incluir lo siguiente:

- 8.1.1 Identificación y descripción visual del espécimen, incluyendo la clasificación del suelo, el símbolo y si el espécimen es inalterado, remoldeado, compactado, etc. También, se debe incluir la información que permita identificar el espécimen, (proyecto, localización, número de sondeo, número de la muestra, profundidad, etc.). Las descripciones visuales deben ser hechas de acuerdo con la norma INV E-102.
- 8.1.2 Densidad seca inicial y contenido de agua (especificar si la muestra para el contenido de agua fue obtenida antes o después del ensayo, y si fue obtenida a partir de recortes o de la muestra completa).

**8.1.3** Grado de saturación (nota 7), si fue calculado.

*Nota 7: Se requiere la gravedad determinada de acuerdo con la norma INV E-128 para el cálculo del grado de saturación.*

**8.1.4** Resistencia a la compresión inconfiada y resistencia al corte, kPa.

**8.1.5** Altura y diámetro promedios de la muestra.

**8.1.6** Relación altura/diámetro.

**8.1.7** Velocidad promedio de deformación hasta la falla, %.

**8.1.8** Deformación en el instante de la falla, %.

**8.1.9** Limite líquido y límite plástico, si fueron determinados, de acuerdo con las normas INV E-125 e INV E-126.

**8.1.10** Esquema o fotografía de las condiciones de falla.

**8.1.11** Gráfico esfuerzo-deformación, si fue preparado.

**8.1.12** Sensibilidad, si fue determinada.

**8.1.13** Análisis granulométrico, si fue ejecutado, de acuerdo con la norma INV E-123.

**8.1.14** *Observaciones* – Se debe anotar cualquier condición inusual u otros datos que pudieran ser considerados necesarios para interpretar adecuadamente los resultados obtenidos; por ejemplo, planos de deslizamiento, estratificación, presencia de conchas, guijarros, raíces, o fragilidad, el tipo de rotura (es decir, forma de barril, cizalla diagonal, etc.).

## 9 PRECISIÓN Y SESGO

---

**9.1** *Precisión* – Los criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados obtenidos con este método de ensayo al ensayar una espuma de poliuretano rígido (densidad aproximada: 0.09 g/cm<sup>3</sup>), se muestran en la Tabla 152 - 1. Las estimaciones de precisión variarán con el material, por lo que se requiere buen juicio si se quieren aplicar a suelos.

Tabla 152 - 1. Resumen de resultados de ensayo de cada laboratorio

NÚMERO DE LABORATORIOS	PARÁMETRO MEDIDO	VALOR PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (1s)	RANGO ACEPTABLE ENTRE DOS RESULTADOS (d2s)
<b><i>Precisión de un solo operador (repetibilidad en un laboratorio)</i></b>				
22	Resistencia, kPa	989	42	120
22	Deformación, %	4.16	0.32	0.9
<b><i>Precisión entre laboratorios (reproducibilidad entre laboratorios)</i></b>				
22	Resistencia, kPa	989	53	150
22	Deformación, %	4.16	0.35	1.0

**9.2 Sesgo** – No hay un valor aceptado de referencia para este método; en consecuencia, no es posible determinar el sesgo.

## 10 NORMAS DE REFERENCIA

---

ASTM D 2166 – 06



## ANEXO A (Informativo)

### FORMATO PARA PRUEBA DE COMPRESIÓN INCONFINADA

<b><u>PRUEBA DE COMPRESION INCONFINADA</u></b>			
Nombre: _____		Fecha: _____	
Localización: _____		Trabajo No. _____	
Perforación No.: _____		Muestra No. _____	
Descripción de la muestra: _____		Profundidad: _____	
Anillo No.: _____		Aparato No.: _____	
<i>Determinación del contenido de agua:</i>			
Recipiente No. _____			
W espécimen húmedo + recip. _____			
W espécimen seco + recip. _____		Contenido de agua en % de peso seco	
W agua _____		a 105°C _____ %	
W recipiente _____		Densidad seca _____	
W espécimen húmedo _____		Densidad húmeda _____	
W espécimen seco _____			
<i>Resistencia a la compresión inconfinada:</i>			
Diámetro inicial Do _____		Gravedad específica _____	
Área inicial Ao _____			
Altura inicial Lo _____		$Esfuerzo = \frac{Carga}{Área\ corregida}$	
Volumen inicial Vo _____			
<b>Datos de la Prueba</b>			
$\epsilon_1 = \frac{\Delta L}{L_0}$		$\frac{L}{D} = \text{---}$	
		$Área\ corregida = \frac{A_0}{1 - \epsilon_1}$	

Tiempo (min)	Dial de carga	Carga axial	Dial de deformación	Deformación total	Deformación unitaria ( $\epsilon_1$ )	Área corregida	esfuerzo

Tipo de muestra: \_\_\_\_\_

Grafico o foto del espécimen después de la falla

Rata de deformación: \_\_\_\_\_ %/min

Observaciones: \_\_\_\_\_

**Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente**

# ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL SOBRE SUELOS COHESIVOS

INV E – 153 – 13

## 1 OBJETO

---

**1.1** La presente norma se refiere a la ejecución de dos ensayos de compresión triaxial sobre muestras de suelos cohesivos: (1) prueba no consolidada no drenada, UU y (2) prueba consolidada no drenada, CU.

**1.2** *Ensayo triaxial no consolidado no drenado, UU:*

**1.2.1** Se describe el procedimiento para determinar la resistencia y el comportamiento esfuerzo-deformación de un espécimen cilíndrico, inalterado o remodelado, de suelo cohesivo, sometido a una presión de confinamiento dentro de una cámara triaxial, y sin posibilidad de drenaje durante la prueba. El espécimen se falla bajo compresión, sin drenaje y a una velocidad constante de deformación unitaria axial (deformación unitaria controlada).

**1.2.2** Mediante este ensayo se determinan las propiedades de resistencia no drenada y las relaciones esfuerzo-deformación de los suelos. Los resultados se entregan en términos de esfuerzos totales aplicados al espécimen, es decir, en el cálculo de esfuerzos no se tiene en cuenta la presión de poros.

*Nota 1: La determinación de la resistencia a la compresión inconfiada de suelos cohesivos se describe en la norma INV E-152.*

**1.3** *Ensayo triaxial consolidado no drenado, CU:*

**1.3.1** Se describe el procedimiento para determinar la resistencia y la relación esfuerzo - deformación unitaria de un espécimen cilíndrico de un suelo cohesivo saturado, inalterado o reconstituido. Las probetas se consolidan isotrópicamente y después se fallan bajo compresión, sin drenaje, a una velocidad constante de deformación axial (deformación controlada).

**1.3.2** Este método proporciona los datos correspondientes a carga axial, deformación axial y presión del agua de poros a partir de los cuales se calculan los esfuerzos efectivos y totales y la compresión axial.

- 1.3.3** También, entrega datos útiles para determinar algunas propiedades de resistencia y deformación de suelos cohesivos, tales como las envolventes de resistencia de Mohr y el módulo de Young. Generalmente, se ensayan tres especímenes a diferentes niveles de consolidación efectiva para definir una envolvente de resistencia.
- 1.3.4** La determinación de las envolventes de resistencia y el desarrollo de correlaciones para la interpretación y evaluación de los resultados de los ensayos, están fuera del alcance de esta norma.
- 1.4** *Términos densidad y peso unitario* – Los términos densidad y peso unitario con frecuencia se usan indistintamente. La densidad es la masa por unidad de volumen, mientras que el peso unitario es la fuerza por unidad de volumen. En esta norma, la densidad solo se expresa en Sistema Internacional. Una vez se haya determinado la densidad, el peso unitario se puede calcular en Sistema Internacional o en unidades libra–pulgada, o en ambas.
- 1.5** Esta norma reemplaza la norma INV E–153–07.

## 2 TERMINOLOGÍA

---

### 2.1 *Definiciones de términos específicos a esta norma:*

- 2.1.1** *Falla* – Se refiere a la condición de máximo esfuerzo o al esfuerzo a una deformación unitaria definida para una muestra de ensayo. La falla se toma, con frecuencia, como la diferencia máxima alcanzada, en términos de esfuerzos principales (máximo esfuerzo desviador); o la diferencia de esfuerzos principales (esfuerzo desviador) al 15 % de la deformación unitaria axial, la que primero se presente durante el desarrollo de la prueba. Dependiendo del comportamiento del suelo y de las condiciones específicas de la obra, se pueden definir otros criterios para determinar la falla como, por ejemplo, la oblicuidad del esfuerzo máximo efectivo  $(\sigma_1'/\sigma_3')_{\max}$ , o la diferencia de esfuerzos principales (esfuerzo desviador) a una deformación unitaria axial diferente de 15 %.
- 2.1.2** *Resistencia a la compresión no consolidada-no drenada* – El valor del esfuerzo desviador (diferencia de esfuerzos principales) en la falla.
- 2.1.3** *Contrapresión* – Una presión que se aplica sobre el agua que hay en los poros del espécimen, con el objeto de comprimir el aire depositado en

ellos y generar su solución en el agua de poros incrementando el porcentaje de saturación.

- 2.1.4** *Esfuerzo efectivo de consolidación* – La diferencia entre la presión de cámara y la presión de poros antes de fallar el espécimen.

### 3 IMPORTANCIA Y USO

---

#### 3.1 *Ensayo triaxial no consolidado no drenado (UU):*

- 3.1.1** En este método, se determina la resistencia a la compresión de un suelo en términos de esfuerzos totales, razón por la cual, la resistencia resultante depende de la presión de poros desarrollada durante la carga. En este tipo de ensayo no se permite el flujo de fluidos desde o hacia la muestra de suelo mientras se está aplicando la carga; en consecuencia, la presión de poros resultante, y por lo tanto la resistencia, son diferentes de las que se desarrollan cuando se permite el drenaje.
- 3.1.2** Si el suelo está saturado 100 %, no se presenta consolidación cuando se aplica la presión de confinamiento ni durante la etapa de corte, ya que no se permite el drenaje. De ahí que se puedan obtener resultados de resistencia similares cuando se ensayan varias probetas del mismo material y con aproximadamente la misma humedad y la misma relación de vacíos. En este caso, la envolvente de falla de Mohr es, generalmente, una línea recta horizontal sobre el rango completo de esfuerzos de confinamiento, siempre y cuando las muestras estén totalmente saturadas.
- 3.1.3** Si la muestra está parcialmente saturada, porque esa sea su condición natural o porque se trata de un espécimen compactado, donde el grado de saturación es menor que 100 %, se puede presentar consolidación cuando se aplica la presión de confinamiento durante el corte, aun cuando el drenaje no esté permitido. Lo anterior significa que si se ensayaran varias muestras parcialmente saturadas del mismo material a diferentes presiones de confinamiento, la resistencia al corte no drenada sería diferente; en consecuencia, la envolvente de falla de Mohr en pruebas triaxiales no consolidadas no drenadas sobre suelos parcialmente saturados es, generalmente, una curva.

- 3.1.4** La resistencia no consolidada no drenada a partir del ensayo triaxial, es apropiada para situaciones en las cuales se asume que las cargas se aplican tan rápidamente que no hay suficiente tiempo para disipar la presión de poros inducida, ni para que se presente consolidación durante el período de carga (no hay drenaje).
- 3.1.5** Las resistencias a la compresión determinadas usando este procedimiento, no son aplicables para condiciones de campo que difieran significativamente de aquellas usadas durante las pruebas.

### **3.2** *Ensayo triaxial tipo consolidado no drenado (CU):*

- 3.2.1** En un ensayo de compresión triaxial, la resistencia al corte de un suelo saturado depende de los esfuerzos aplicados, del tiempo de consolidación, de la velocidad de deformación y de la historia de esfuerzos experimentada por el suelo. En este ensayo, las características de corte se miden bajo condición no drenada; caso que se aplica a condiciones de campo donde los suelos que han sido consolidados totalmente bajo una serie de esfuerzos, se someten a un cambio de esfuerzos sin tiempo para que tome lugar una consolidación adicional (condición no drenada); y las condiciones de campo son similares a las que se emplean en este método de ensayo en el laboratorio.
- 3.2.2** La resistencia al corte determinada a partir de este ensayo, se puede expresar en términos de esfuerzos efectivos, usando la presión de agua de poros medida durante la prueba. Esta resistencia al corte es válida para condiciones de campo donde se puede presentar el drenaje total (condiciones drenadas) o para aquellas en que se pueden estimar las presiones de poros inducidas por la carga, y las condiciones de campo son similares a las que se representan en el laboratorio.
- 3.2.3** La resistencia al corte determinada a partir de este ensayo, expresada en términos de esfuerzo efectivo (condición drenada) o de esfuerzo total (condición no drenada), se usa frecuentemente en análisis de estabilidad de terraplenes, cálculos de presión de tierras y diseño de fundaciones.

## 4 EQUIPO

---

- 4.1** El equipo necesario para desarrollar satisfactoriamente los ensayos se presenta en los siguientes numerales. Ver Figuras 153 - 1 y 153 - 2.
- 4.2** *Sistema de carga axial* – El mecanismo de carga axial puede ser un gato de tornillo dirigido por un motor eléctrico a través de una transmisión de engranaje; un dispositivo hidráulico de carga, o cualquier otro dispositivo de compresión con suficiente capacidad y control para generar la tasa de deformación unitaria axial (por aplicación de carga) requerida en el numeral 7.2.4.2. La velocidad de avance del aparato de carga no se debe desviar en más de  $\pm 5\%$  (para ensayos UU) ni de  $\pm 1\%$  (para ensayos CU) respecto del valor elegido. La vibración debida a la operación del aparato de carga debe ser muy pequeña, para evitar cambios dimensionales en la muestra o, en ensayos CU, para no producir cambios en la presión del agua de poros cuando las válvulas de drenaje están cerradas.

*Nota 2: Para verificar que el mecanismo de carga axial no genera vibraciones nocivas, se puede colocar un vaso con agua sobre la plataforma de carga con el aparato operando a la velocidad a la cual se va a realizar el ensayo y comprobar que no aparezcan ondas visibles en el líquido.*

- 4.3** *Medidor de carga axial (ensayos UU y CU)* – Puede ser una celda electrónica de carga, una celda de carga hidráulica, un anillo de carga o cualquier otro aparato capaz de medir la carga axial con una aproximación del 1 % de la carga axial de falla. Cuando el medidor se encuentra dentro de la cámara de compresión triaxial, debe ser insensible a las fuerzas horizontales y a la magnitud de la presión de cámara.
- 4.4** *Cámara de compresión triaxial (ensayos UU y CU)* – Consta de una placa superior y una placa inferior separadas por un cilindro. El cilindro puede ser de cualquier material capaz de resistir las presiones aplicadas. Es recomendable que sea transparente o que cuente con ventanas para observar el comportamiento de la muestra. La placa superior tiene una válvula de ventilación o purga que permite la salida del aire de la cámara a medida que ésta se va llenando. La placa inferior debe tener una entrada a través de la cual se llena la cámara. Para efectuar los ensayos triaxiales consolidados no drenados se requiere, además, que posea otras entradas que lleguen al pedestal y al cabezal de la muestra y permitan su saturación y drenaje en el momento correspondiente. La cámara debe proporcionar una conexión al cabezal. La cámara del triaxial tendrá una presión de cámara de trabajo igual a la suma del esfuerzo efectivo de consolidación y la contrapresión en el momento del ensayo CU.

- 4.5** *Pistón de carga axial (Ensayos UU y CU)* – El pistón que pasa a través de la parte superior de la cámara y su sello debe ser diseñado de manera que la variación en carga axial debida a la fricción no sea mayor que el 0.1 % de la carga de falla y que el pandeo lateral del pistón durante la carga sea despreciable.

*Nota 3: Se recomienda emplear dos balineras para guiar el pistón con el fin de disminuir la fricción y mantener el alineamiento.*

*Nota 4: Muchos laboratorios han empleado exitosamente pistones con un diámetro mínimo igual a 1/6 del diámetro de la muestra, para minimizar la flexión lateral o pandeo.*

- 4.6** *Dispositivos de aplicación y control de presión y vacío:*

- 4.6.1** *Ensayo triaxial tipo no consolidado no drenado (UU)* – El dispositivo para controlar la presión de la cámara debe ser capaz de aplicar y controlar presiones dentro de  $\pm 2$  kPa ( $0.25$  lbf/pg<sup>2</sup>) para presiones inferiores a 200 kPa ( $28$  lbf/pg<sup>2</sup>) y de  $\pm 1\%$  para presiones superiores. El dispositivo puede ser un tanque conectado a la cámara triaxial y parcialmente lleno con fluido de cámara (generalmente agua), con su parte superior conectada a una fuente de gas comprimido; la presión del gas se controla mediante un regulador de presiones y se mide con un manómetro, un transductor electrónico de presión, o cualquier otro aparato que cumpla con las tolerancias exigidas. Sin embargo, se puede usar también un sistema hidráulico presurizado por una carga muerta que actúe sobre el pistón, o cualquier otro dispositivo de regulación y medición de presión que cumpla con las tolerancias mencionadas en este numeral.



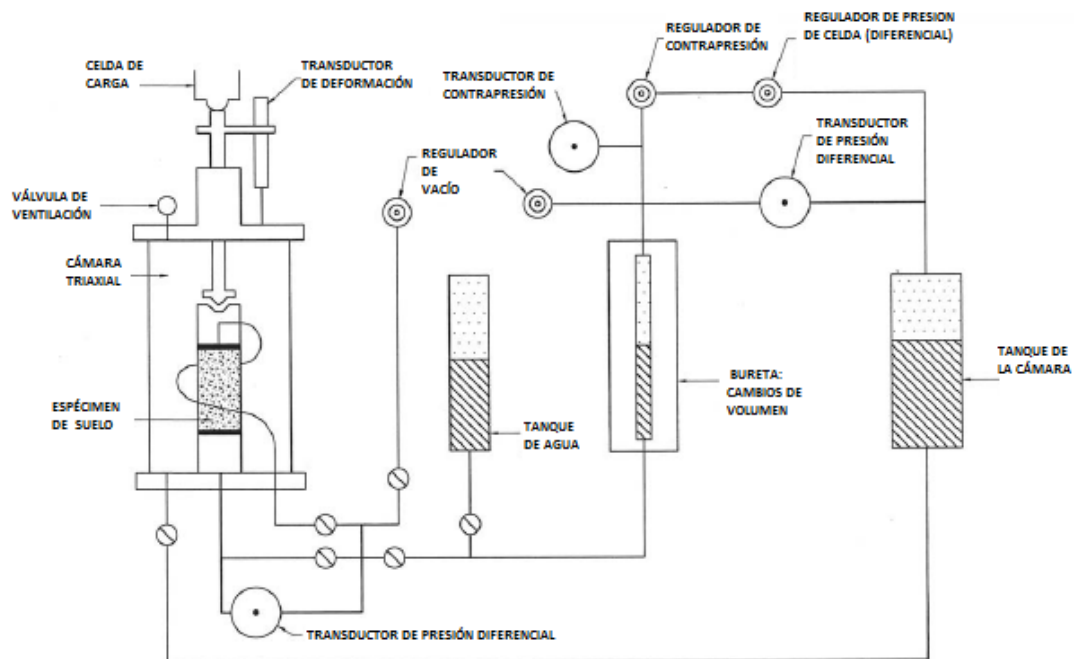


Figura 153 - 1. Diagrama esquemático de un aparato típico para ensayos triaxiales consolidados no drenados

**4.6.2** *Ensayo triaxial tipo consolidado no drenado (CU)* – Los aparatos para controlar la presión y la contrapresión de la cámara deben ser capaces de aplicar y controlar presiones dentro de  $\pm 2$  kPa ( $0.25$  lbf/pg<sup>2</sup>) para presiones efectivas de consolidación inferiores a 200 kPa ( $28$  lbf/pg<sup>2</sup>) y de  $\pm 1$  % para presiones superiores. El dispositivo para control de vacío deberá ser capaz de aplicar y controlar vacíos parciales dentro de  $\pm 2$  %. Los aparatos consisten en reguladores neumáticos de presión para controlar la presión y el volumen, una combinación de reguladores de presión neumática y de vacío, u otro mecanismo que pueda aplicar y controlar presiones o vacíos parciales dentro de las tolerancias requeridas. Los ensayos triaxiales suelen durar varios días; por lo tanto, no es conveniente la presencia de una interfaz agua/aire en ninguno de los sistemas de presión, a menos que se encuentre aislada de la muestra y de la cámara (por ejemplo, por medio de una tubería larga).

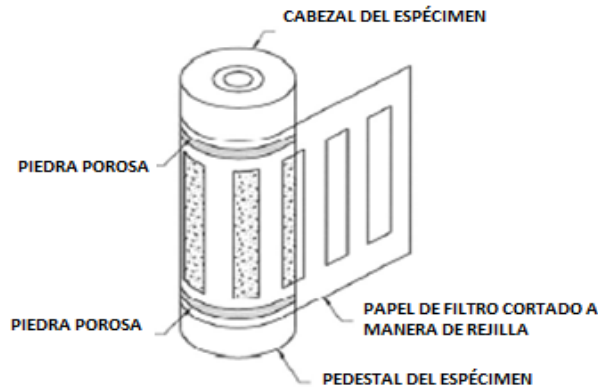


Figura 153 - 2. Colocación del papel de filtro

#### 4.7 Cabezal y pedestal del espécimen:

**4.7.1 Ensayo consolidado no drenado (CU)** – Se diseñarán para proporcionar drenaje en ambos extremos de la muestra. Deben ser de un material rígido, no corrosivo e impermeable y cada uno debe tener, excepto para el suministro de drenaje, una superficie de contacto plana y circular con los discos porosos y una sección transversal circular. Es deseable que el cabezal y el disco poroso superior tengan una masa baja, como máximo el 10 % de la carga axial de falla. En caso de que la masa de estos dos elementos sea mayor que el 0.5 % de la carga axial de falla y mayor que 50 g, la carga axial aplicada se deberá corregir por tal motivo. Los diámetros del cabezal y del pedestal deberán ser iguales al diámetro inicial de la probeta de ensayo. El pedestal debe estar conectado a la cámara de compresión triaxial para prevenir movimiento lateral o ladeo y el cabezal debe estar diseñado de manera que la excentricidad del contacto pistón-cabezal, medida con respecto al eje vertical de la muestra, no exceda de 1.3 mm (0.05"). El área de contacto entre el pistón y el cabezal debe estar diseñada de manera que el ladeo de este último durante el ensayo sea mínimo. La superficie cilíndrica de la base y del cabezal que está en contacto con la membrana para formar un sello, debe ser lisa y estar libre de rayones.

**4.7.2 Ensayo no consolidado no drenado (UU)** – En este caso, el material también deberá ser rígido y no corrosivo, pero la tapa y la base deberán ser impermeables, para impedir el drenaje de la muestra. La masa del cabezal deberá producir un esfuerzo axial sobre el espécimen menor que  $1 \text{ kN/m}^2$ . En lo demás, sus características son las mismas indicadas en el numeral 4.7.1.

#### 4.8 *Indicador de deformación:*

**4.8.1** *Ensayo triaxial tipo no consolidado no drenado (UU)* – La deformación vertical se debe medir con una aproximación de mínimo 0.03 % de la altura del espécimen. El rango del aparato debe ser de al menos el 20 % de la altura de la muestra, y puede ser de dial, un transformador diferencial de variación lineal (LVDT), un extensómetro o cualquier aparato que cumpla con los requisitos de exactitud y de rango.

**4.8.2** *Ensayo triaxial tipo consolidado no drenado (CU)* – La deformación vertical del espécimen se determina a partir del recorrido del pistón que actúa sobre la parte superior de la muestra. Este recorrido se mide con una exactitud mínima de 0.25 % de la altura inicial de la probeta. El indicador de deformación debe tener un rango de al menos el 15 % de la altura inicial de la muestra y puede ser un indicador tipo dial u otro aparato que cumpla con los requerimientos descritos sobre exactitud y rango.

**4.9** *Dispositivos de medición de presión y vacío* – La presión de cámara, – contrapresión–, y los aparatos de medida de vacío, deben ser capaces de medir presiones o vacíos parciales con las tolerancias citadas en los numerales 4.6.1 y 4.6.2. Pueden ser transductores de presión electrónicos u otros aparatos equivalentes. Cuando se emplean aparatos separados para medir la presión de cámara y la contrapresión, éstos deben ser calibrados simultáneamente y contra la misma fuente de presión. Adicionalmente, y puesto que la presión de cámara y la contrapresión se miden en la parte media del espécimen, puede ser necesario ajustar la calibración de los dispositivos para reflejar la cabeza hidráulica de los fluidos en los sistemas de control de la presión de cámara y de la contrapresión. Para el ensayo triaxial UU aplica solamente la parte de la presión de cámara.

**4.10** *Dispositivo de medición de presión del agua de poros (Ensayo CU)* – La presión del agua de los poros de la muestra se debe medir de acuerdo con las tolerancias establecidas en el numeral 4.6.2. Durante el corte no drenado, al medir la presión de poros se debe procurar que la fuga o la entrada de agua sean nulas o despreciables. Para conseguir este objetivo, se debe usar un transductor electrónico de presión muy rígido o un indicador de nulos. Cuando se emplea el transductor, la presión se mide directamente. Con un indicador de nulos, un control de presión es ajustado continuamente para mantener un nivel constante de la interfaz agua/mercurio en el conducto capilar del dispositivo. La presión requerida para prevenir el movimiento del agua es igual

a la presión de poros. Ambos dispositivos deben tener una flexibilidad tal en relación con el volumen total, que se satisfaga el siguiente requisito.

$$(\Delta V / V) / \Delta u < 3.2 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{kN} \quad (2.2 \times 10^{-5} \text{ pg}^2/\text{lbf}) \quad [153.1]$$

Donde:  $\Delta V$ : Cambio de volumen del sistema de medida de agua en los poros, debido a un cambio en la presión de poros,  $\text{mm}^3$  ( $\text{pg}^3$ );

$V$ : Volumen total de la muestra,  $\text{mm}^3$  ( $\text{pg}^3$ );

$\Delta u$ : Cambio en la presión de poros,  $\text{kPa}$  ( $\text{lbf/pg}^2$ ).

*Nota 5: Para cumplir con los requisitos de flexibilidad, la tubería entre la muestra y el dispositivo de medida debe ser corta y de pared gruesa, con pequeños orificios. Son adecuados los tubos termoplásticos, de cobre y acero inoxidable. Para medir esta flexibilidad, se arma la cámara triaxial sin la muestra. Luego, se abren las válvulas apropiadas, se incrementa la presión y se registra el cambio de volumen.*

- 4.11** *Dispositivo para medir el cambio de volumen (Ensayos CU)* – El volumen del agua que entra o sale de la muestra se debe medir con una aproximación de  $\pm 0.05$  % del volumen total de la probeta de ensayo. Generalmente, se utiliza una bureta graduada conectada a la contrapresión pero puede ser cualquier dispositivo que cumpla con el requisito sobre exactitud. El dispositivo debe estar en capacidad de resistir la contrapresión máxima.
- 4.12** *Discos porosos (Ensayos CU)* – Se usan dos discos porosos rígidos para proporcionar drenaje en los extremos del espécimen. El coeficiente de permeabilidad de los discos puede ser aproximadamente igual al de la arena fina [ $1 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$  ( $4 \times 10^{-5} \text{ pg./s}$ )]. Los discos se deben limpiar regularmente por ultrasonido o por ebullición y cepillado, y chequeados para comprobar que no se encuentren colmatados.
- 4.13** *Discos y tiras o bandas de papel de filtro (Ensayos CU)* – Las tiras o bandas de papel de filtro se usan en muchos laboratorios para disminuir el tiempo requerido de prueba. Los discos de papel de filtro, de igual diámetro que el espécimen, se colocan entre los discos porosos y la probeta para evitar la colmatación de éstos. Si se usan bandas o discos, su material no deberá ser soluble en agua y su coeficiente de permeabilidad no será menor que  $1 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$  ( $4 \times 10^{-6} \text{ pg./s}$ ) para una presión normal de  $550 \text{ kPa}$  ( $80 \text{ lbf/pg}^2$ ). Para evitar la tensión radial, la tira de papel de filtro deberá cubrir menos del 50 % de la periferia de la muestra. Algunos laboratorios emplean exitosamente jaulas de bandas de papel de filtro (Figura 153 - 2). La corrección del esfuerzo

desviador por efecto de la resistencia de las tiras o bandas verticales de filtro se hace mediante la ecuación dada en el numeral 9.3.3.3.1.

*Nota 6: El papel de filtro grado No. 54 cumple con los requisitos de permeabilidad y durabilidad.*

- 4.14 Válvulas** – Los cambios de volumen producidos por la apertura y el cierre de válvulas pueden ocasionar medidas incorrectas de presión de poros y de cambio de volumen. Por ello, en el sistema de drenaje del espécimen (CU) se deben emplear válvulas que produzcan un mínimo cambio de volumen o de presión de poros durante su operación. Se asume que una válvula produce un cambio mínimo de volumen cuando al abrirla o cerrarla dentro de un sistema cerrado y saturado, no induce un cambio de presión mayor que 0.7 kPa ( $\pm 0.1$  lbf/pg<sup>2</sup>). Todas las válvulas deben ser capaces de resistir las presiones aplicadas en el ensayo sin provocar fugas.

*Nota 7: Las válvulas de bola proporcionan características de mínimo cambio volumétrico. Sin embargo, se puede usar cualquier otro tipo de válvula, siempre que cumpla con la tolerancia especificada.*

- 4.15 Desaireador de agua** – La cantidad de aire que está disuelto en el agua que se usa para saturar la muestra se debe disminuir usando procesos como ebullición, calentamiento o al vacío, u otros métodos que permitan saturar el suelo dentro de los límites impuestos por la máxima contrapresión disponible y por el tiempo para la ejecución del ensayo.
- 4.16 Extractor de muestras (Ensayos UU y CU)** – Este aparato debe ser capaz de extraer la probeta de suelo del tubo de muestreo a una velocidad uniforme, en la misma dirección en que fue introducida la muestra dentro del tubo y con la mínima alteración posible. Si el espécimen no es extraído verticalmente, se deben evitar esfuerzos de flexión sobre la probeta debido a la gravedad.
- 4.17 Elementos para medir el tamaño de la muestra (Ensayos UU y CU)** – Los aparatos para medir la altura y el diámetro del espécimen deben dar las dimensiones con cuatro dígitos significativos y no deben alterar o deformar la muestra cuando se usan. Las dimensiones se deberán medir dentro del 0.1 % de su longitud real.

*Nota 8: Es preferible emplear cintas métricas circunferenciales que calibradores para medir el diámetro.*

- 4.18 Membrana de caucho (Ensayos UU y CU)** – La membrana de caucho usada para revestir el espécimen debe ser completamente impermeable. Las membranas se deben inspeccionar cuidadosamente antes de usarlas y se deben descartar cuando se evidencien orificios o defectos. Para generar una mínima restricción a la muestra, el diámetro de la membrana de caucho, sin estirar, deberá estar entre el 90 % y 95 % del diámetro del espécimen. El espesor de la membrana

no debe exceder el 1 % del diámetro del espécimen. La membrana se sellará al cabezal y a la base de la muestra con anillos de caucho en forma de O (aros tóricos) de diámetro interior (sin tensionarlos) entre el 75 % y 85 % del diámetro de las bases (cabezal y pedestal), o se emplearán otros medios que proporcionen una impermeabilidad perfecta. En el numeral 9.3.3.3.2 se presenta una ecuación para corregir el esfuerzo desviador a causa de la rigidez de la membrana.

- 4.19 Cronómetro (Ensayos UU y CU)** – Se emplea para determinar el tiempo transcurrido, con una aproximación de un segundo, con el fin de establecer la velocidad de la aplicación de la deformación o los datos de consolidación, según corresponda.
- 4.20 Balanza (Ensayos UU y CU)** – Con una posibilidad de lectura del 0.1 % de la masa de ensayo o mejor.
- 4.21 Ambiente del ensayo** – Las etapas de consolidación (ensayo CU) y de corte de ambos ensayos se deben desarrollar en un ambiente en el cual las fluctuaciones de temperatura sean menores de 4° C (7.2° F) y en un sitio donde no haya exposición directa a la luz del sol.
- 4.22 Equipo misceláneo (Ensayos UU y CU)** – Herramientas para el corte y tallado de muestras, que incluyen sierras de alambre, reglas de acero, caja de ingletes, torno vertical, aparatos para preparar muestras reconstituidas, dilatadores de membranas y aros tóricos, recipientes para contenido de agua y formatos adecuados.

## 5 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

---

- 5.1 Tamaño de la probeta** – Los especímenes deben ser cilíndricos y tener un diámetro mínimo de 33 mm (1.3"). La relación altura promedio/diámetro promedio debe estar entre 2 y 2.5. El tamaño de la partícula más grande dentro ser menor que 1/6 del diámetro de la muestra de ensayo. Si después de la terminación del ensayo se encuentran sobretamaños, se deben hacer las anotaciones correspondientes en el informe.

*Nota 9: Cuando se encuentren sobretamaños después del ensayo, se debe realizar un análisis de tamaño de las partículas de acuerdo con la norma INV E-123, para confirmar la observación visual e incluir los respectivos resultados en el informe.*

- 5.2 Muestras inalteradas** – Se pueden preparar muestras inalteradas a partir de muestras inalteradas de mayor tamaño o de muestras obtenidas de acuerdo

con la norma INV E-105 o de otras muestras obtenidas mediante procedimientos aceptables para extraer muestras inalteradas de tubo. Las muestras se conservan y transportan de acuerdo con las recomendaciones para grupos C y D de la norma INV E-103. No es necesario tallar los especímenes que se obtienen por muestreo con tubo; solamente, se cortan los extremos, planos y perpendiculares al eje longitudinal de la probeta. La manipulación de las muestras debe ser cuidadosa para evitar alteración y cambios en la sección transversal o en la humedad. Cuando la extracción del tubo pueda alterar la muestra, se procederá a abrirlo longitudinalmente o a cortarlo en secciones que faciliten la remoción del suelo sin mayor alteración. La preparación de las probetas se hace en un cuarto de humedad controlada, para proteger la humedad natural del suelo. Cuando el labrado de la muestra produzca remoción de guijarros o desmoronamiento que generen vacíos en la superficie de la probeta, éstos se deberán rellenar con suelo remoldeado obtenido de los recortes o residuos del tallado. Cuando la muestra lo permita, se puede tornearse hasta alcanzar el diámetro requerido. Después, se coloca la muestra en una caja de ingletes y se corta el espécimen hasta la altura especificada con una sierra de alambre u otro aparato apropiado. Se arreglan las superficies con la regla de acero. Se efectúan uno o más ensayos de contenidos de humedad sobre el material de recorte, de acuerdo con la norma INV E-122.

- 5.3** *Muestras reconstituidas por compactación* – El suelo empleado para formar las probetas se debe mezclar con agua suficiente hasta alcanzar el contenido de agua deseado. Posteriormente, el material humedecido se almacena en un recipiente con tapa durante 16 horas como mínimo, antes de la compactación. Las muestras reconstituidas se pueden preparar compactando el material en al menos 6 capas, usando un molde partido de sección transversal circular y que tenga las dimensiones descritas en el numeral 5.1. Para alcanzar la densidad requerida, se puede (1) amasar o apisonar cada capa hasta cuando la masa de suelo acumulada dentro del molde esté compactada a un volumen conocido; (2) ajustar el número de capas, el número de golpes por capa y la fuerza por golpe. La superficie de cada capa se debe escarificar antes de la adición del material correspondiente a la siguiente. El pisón empleado para compactar el suelo debe tener un diámetro igual o menor que la mitad del diámetro del molde.
- 5.4** Después de que se conforma la probeta con extremos perpendiculares al eje longitudinal de la misma, se retira el molde y se determinan la masa y las dimensiones del espécimen usando los elementos descritos en los numerales 4.17 y 4.20. Se deben medir al menos tres alturas (espaciadas 120°) y al menos tres diámetros (a cada cuarto de altura) para determinar el promedio

respectivo. Ninguna medida de altura o de diámetro puede variar en más del 5 % del promedio. Se efectúan uno o más ensayos de humedad sobre el material de recorte, de acuerdo con la norma INV E-122.

*Nota 10: Es normal que al remover la probeta del molde su densidad o su peso unitario sea menor que el valor calculado con base en el volumen del molde, pues la muestra tiende a expandirse una vez se ha retirado el confinamiento lateral que genera éste.*

## 6 MONTAJE DE LA MUESTRA

---

### 6.1 Ensayo triaxial tipo no consolidado no drenado, UU:

**6.1.1** Se inspecciona la membrana de caucho para descartar imperfecciones, agujeros y fugas. Se coloca la membrana en el dilatador, o sobre el cabezal o la base si se va a enrollar sobre la muestra. Se ubica la probeta sobre el pedestal. Se coloca la membrana de caucho alrededor del espécimen y se sella al cabezal y a la base usando aros tóricos u otros dispositivos de sello en cada extremo. Se puede emplear una capa delgada de grasa de silicona sobre las superficies verticales del cabezal o de la base para conseguir un sellamiento efectivo.

**6.1.2** Con la muestra ubicada en la cámara, se arma la cámara triaxial. Se pone el pistón de carga axial varias veces en contacto con el cabezal de la muestra, para conseguir el ajuste y el alineamiento apropiados de los dos dispositivos. Cuando el pistón se haya acomodado apropiadamente y haga contacto la última vez, se registra la lectura del deformímetro con tres cifras significativas. Durante este proceso, no se debe aplicar una carga axial superior a 0.5 % de la resistencia a la compresión estimada. Si el solo peso del pistón es suficiente para alcanzar este límite, se debe asegurar el pistón varias veces sobre el cabezal del espécimen después de haber verificado el ajuste y el alineamiento y mantenerlo en esta posición hasta la aplicación de la presión de cámara.

### 6.2 Ensayo triaxial tipo consolidado no drenado, CU:

#### 6.2.1 Preparaciones:

**6.2.1.1** Se inspecciona la membrana de caucho para descartar imperfecciones, agujeros y fugas. Se coloca la membrana en el dilatador, o sobre el cabezal o la base si se va a enrollar sobre la muestra.



- 6.2.1.2** Se verifica que los discos porosos y los tubos de drenaje de la probeta no estén obstruidos, pasando aire o agua a través de ellos.
- 6.2.1.3** Se sujetan los sistemas de control de presión y medición de volumen y el aparato para medir la presión de poros a la base de la cámara.
- 6.2.2** Dependiendo de si la etapa de saturación del ensayo se va a iniciar con un sistema de drenaje húmedo o seco, se monta la muestra usando el método apropiado, de acuerdo con las instrucciones presentadas en los numerales 6.2.2.1 o 6.2.2.2. El método de montaje en seco se recomienda ampliamente para especímenes con saturación inicial menor que 90 %. Este montaje remueve el aire antes de adicionar la contrapresión y reduce la contrapresión necesaria para alcanzar el porcentaje adecuado de saturación.

*Nota 11: Se recomienda usar el montaje en seco para suelos con apreciable potencial de expansión en contacto con el agua, pues cuando se usa el montaje húmedo, es necesario obtener las dimensiones de la muestra después de que ésta ya ha sido montada. En tales casos, se deberá determinar el espesor doble de la membrana, el espesor doble de las tiras o bandas de papel de filtro húmedo (en caso de que se use) y la altura combinada del cabezal, el pedestal y los discos porosos (incluyendo el espesor de los discos de papel de filtro si se han usado) para encontrar los valores apropiados por sustracción.*

**6.2.2.1** *Método de montaje húmedo:*

- 6.2.2.1.1** Se llenan con agua desaireada las líneas de drenaje del espécimen y el aparato de medición de presión de poros.
- 6.2.2.1.2** Se saturan los discos porosos por ebullición en agua durante un período mínimo de 10 minutos y se permite que se enfríen a temperatura ambiente.
- 6.2.2.1.3** Si se emplean discos papel filtro entre las piedras porosas y la muestra, se satura el papel con agua antes de su colocación.
- 6.2.2.1.4** Se coloca un disco poroso sobre el pedestal de la muestra y se retira toda el agua libre del disco. Se ubica el disco de papel filtro sobre el disco poroso, en caso de ser usado. Se monta la

probeta sobre el disco. Se coloca encima otro disco de papel de filtro, el disco poroso y el cabezal sobre la parte superior del espécimen. Se verifica que el conjunto haya quedado centrado sobre el pedestal.

**6.2.2.1.5** Cuando se usan bandas de papel filtro o una rejilla de papel filtro, se debe saturar el papel con agua antes de su colocación. Para evitar la tensión circunferencial, no se debe cubrir más del 50 % de la periferia de la probeta con tiras verticales.

**6.2.2.1.6** Se procede con el paso 6.2.3.

**6.2.2.2** *Método de montaje en seco:*

**6.2.2.2.1** Se seca el sistema de drenaje del espécimen. Se puede hacer permitiendo que el aire seco fluya en el sistema antes del montaje de la muestra.

**6.2.2.2.2** Se secan los discos porosos en un horno y luego se colocan en un desecador para enfriarlos a temperatura ambiente antes del montaje del espécimen.

**6.2.2.2.3** Se coloca un disco poroso seco en la base y se ubica la probeta sobre él. En seguida, se dispone sobre ésta el otro disco poroso y el cabezal. Se verifica que el conjunto haya quedado centrado en el pedestal.

*Nota 12: Si se desea, se pueden emplear discos de papel filtro entre los discos porosos y la muestra.*

**6.2.2.2.4** Si se usan tiras o rejillas de bandas de papel de filtro, se deben mantener en su lugar con pequeños pedazos de cinta en los extremos superior e inferior.

**6.2.3** Se coloca la membrana de caucho alrededor de la muestra y se sella contra el cabezal y el pedestal con dos anillos tóricos u otro medio de sellado en cada extremo. Un delgado recubrimiento con grasa de

silicona sobre las superficies verticales del cabezote y de la base ayudará a sellar la membrana. Si se usan bandas o tiras de papel de filtro cortadas en forma de rejilla, no se debe aplicar grasa a las superficies en contacto con el papel.

- 6.2.4** Se instala la línea de drenaje superior y se verifica el alineamiento del espécimen y del cabezal. Si el montaje ha sido en seco, se aplica un vacío parcial de, aproximadamente, 35 kPa (5 lbf/pg<sup>2</sup>) (que no exceda el esfuerzo de consolidación) a la probeta a través de la línea superior de drenaje antes de comprobar el alineamiento. Si se detecta alguna excentricidad, se relaja el vacío parcial, se realinean la muestra y el cabezal y se vuelve a aplicar el vacío parcial. Si el montaje ha sido en húmedo, el alineamiento del espécimen y su cabezal se pueden verificar y ajustar sin necesidad de un vacío parcial.

## 7 PROCEDIMIENTO

---

### 7.1 *Ensayo triaxial no consolidado no drenado (UU):*

- 7.1.1** Se coloca la cámara en su posición en el sistema de carga axial. Los dos se deben alinear con el dispositivo de medición de carga axial, para prevenir la aplicación de una fuerza lateral sobre el pistón durante el ensayo. Se conecta el aparato de medición y regulación de la presión y se llena la cámara con el fluido de confinamiento. Se ajusta el dispositivo que aplica presión a la presión de cámara deseada y se aplica la presión al fluido. Se esperan unos 10 minutos para permitir que el espécimen se estabilice bajo la presión de cámara, antes de la aplicación de la carga axial.

*Nota 13: En algunos casos, se llena la cámara y se aplica la presión de cámara antes de su instalación en el sistema de carga axial.*

*Nota 14: Se debe comprobar que el pistón esté asegurado o bloqueado en su lugar por el sistema de carga axial, antes de aplicar la presión de cámara.*

*Nota 15: En suelos blandos o parcialmente saturados, es probable que haya que incrementar el tiempo de espera.*

- 7.1.2** Si el aparato de medida de carga axial está ubicado por fuera de la cámara triaxial, la presión de cámara provocará una fuerza vertical ascendente sobre el pistón que reaccionará contra el sistema de carga axial. En este caso, se debe comenzar el ensayo con el pistón ubicado por encima del cabezal, y antes de que el pistón entre en contacto con

aquel, se debe seguir uno de dos procesos: (1) medir y registrar la fricción inicial del pistón con tres dígitos significativos y el empuje del pistón hacia arriba, producido por la presión de cámara y luego corregir la carga axial medida; o (2) ajustar el aparato de medida de carga axial para compensar la fricción del pistón y el empuje. Si el aparato se ubica dentro de la cámara, no es necesario realizar estas correcciones. En ambos casos, se debe registrar la lectura inicial del indicador de deformación en el momento en que el pistón hace contacto con el cabezal.

**7.1.3** Se aplica la carga axial para producir una tasa de deformación unitaria axial de, aproximadamente, 1 %/minuto para materiales plásticos y 0.3 %/minuto para materiales frágiles que alcancen el máximo esfuerzo desviador a una deformación axial unitaria entre 3 % y 6 %. A estas velocidades, el tiempo transcurrido para alcanzar el máximo esfuerzo desviador estará entre 15 y 20 minutos. Se continúa la carga hasta conseguir el primero de los siguientes eventos: (1) se alcanza el 15 % de deformación axial unitaria; (2) el esfuerzo desviador (diferencia de esfuerzos principales) cae 20 % después del pico, o (3) se llega a una deformación unitaria axial 5 % mayor que aquella a la cual se ha presentado el pico en el esfuerzo desviador.

**7.1.4** Los valores de carga y de deformación se registran con tres dígitos significativos, a lecturas de deformación unitaria de alrededor de 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5 %; luego, a incrementos de alrededor de 0.5 % de deformación unitaria hasta 3 % y, por último, cada 1 %. Se deben tomar suficientes lecturas para definir la curva esfuerzo–deformación unitaria; es recomendable incrementar la frecuencia de lectura en las etapas iniciales y cuando el momento de la falla esté cerca.

*Nota 16: Se pueden usar intervalos alternos para efectuar las lecturas, siempre que se obtengan suficientes puntos para permitir la definición de la curva esfuerzo-deformación unitaria.*

## **7.2** Ensayo consolidado no drenado (CU):

**7.2.1** *Antes de la saturación* – Después del montaje de la cámara triaxial, se debe continuar con el siguiente procedimiento:

**7.2.1.1** Se pone en contacto varias veces el pistón de carga axial con el cabezal del espécimen, para permitir un asentamiento adecuado y el alineamiento de los dos elementos. Durante este proceso, no se debe aplicar una carga axial superior a 0.5

% de la carga estimada de falla. Cuando el pistón entre en contacto, se registra la lectura del deformímetro con tres dígitos significativos.

**7.2.1.2** Se llena la cámara con el líquido de cámara, evitando que quede aire dentro de la misma.

**7.2.2** *Saturación* – El objetivo de la fase de saturación del ensayo es llenar todos los vacíos de la muestra con agua, sin pre-esforzar la muestra o permitir su expansión. La saturación se consigue aplicando contrapresión al agua del espécimen con el objeto de conducir el aire en solución luego de la saturación del sistema, ya sea: (1) aplicando vacío al espécimen y al sistema de drenaje en seco (líneas, discos porosos, aparato de presión de poros, bandas o jaulas y discos de papel filtro) y luego, permitiendo que el agua desaireada fluya a través del sistema y de la muestra mientras se mantiene el vacío; o (2) saturando el sistema de drenaje por ebullición de los discos porosos en agua y permitiendo el flujo del agua a través del sistema antes del montaje del espécimen. Se debe notar que la dilución del aire en el agua es función del tiempo y de la presión. Por consiguiente, la remoción de tanto aire como sea posible antes de la aplicación de la contrapresión, disminuye la cantidad de aire que será puesto en solución y, también, disminuye la contrapresión requerida para la saturación. Adicionalmente, el aire que queda en el espécimen y en el sistema de drenaje justo antes de la aplicación de la contrapresión, entrará en solución más rápidamente si se usa agua desaireada para la saturación. El uso de agua desaireada también disminuye el tiempo y la contrapresión requeridos para la saturación. Existen muchos procedimientos para llevar a cabo la saturación. Dentro de éstos se sugieren los siguientes:

**7.2.2.1** *Con el sistema de drenaje inicialmente seco* – Se incrementa el vacío parcial que actúa sobre la parte superior de la probeta hasta el máximo vacío disponible. Si el esfuerzo efectivo de consolidación bajo el cual se quiere determinar la resistencia es menor que el vacío máximo parcial, se aplica un vacío parcial más bajo a la cámara. La diferencia entre el vacío parcial aplicado a la muestra y el vacío parcial de la cámara nunca debe exceder el esfuerzo efectivo de consolidación para el ensayo y no debe ser menor de 35 kPa (5 lbf/pg<sup>2</sup>) para permitir el flujo a través de la muestra. Después de unos 10 minutos, se permite que el agua desaireada percole desde el

fondo hasta la parte superior del espécimen bajo un vacío diferencial de menos de 20 kPa (3 lbf/pg<sup>2</sup>) (nota 17).

**7.2.2.1.1** Se debe mantener siempre un esfuerzo efectivo positivo de, al menos, 13 kPa (2 lbf/pg<sup>2</sup>) en la parte inferior de la muestra durante esta parte del proceso. Cuando el agua aparece en la bureta conectada a la parte superior del espécimen, se cierra la válvula de la parte inferior del mismo y se llena la bureta con agua desaireada. Después, se reduce a presión atmosférica el vacío que actúa en la parte superior de la muestra a través de la bureta, mientras que, simultáneamente, se incrementa en una cantidad igual la presión de la cámara. Este procedimiento se efectúa lentamente, de manera que las presiones de poros medidas en la parte inferior y en la parte superior de la muestra se igualen. Cuando la presión de poros de la base de la muestra se estabilice, se aplica la contrapresión como se describe en 7.2.2.3.1. Para verificar la igualdad de presiones, se cierran las válvulas de drenaje y se mide el cambio de presión de poros hasta cuando se vuelve estable. Si el cambio es menor que el 5 % de la presión de cámara, se asume entonces que la presión de poros se ha estabilizado.

*Nota 17: En arcillas saturadas no es necesaria la percolación y el agua se puede adicionar simultáneamente en las partes superior e inferior.*

**7.2.2.2** *Con el sistema de drenaje inicialmente saturado* – Después de llenar la bureta conectada a la parte superior del espécimen con agua desaireada, se aplica una presión de cámara de 35 kPa (5 lbf/pg<sup>2</sup>) o menor y se abren las válvulas de drenaje de la muestra. Cuando la presión de poros en la parte inferior del espécimen se estabiliza, de acuerdo con el procedimiento descrito en el numeral 7.2.2.1, o cuando la lectura de la bureta se estabiliza, se comienza a aplicar la contrapresión.

**7.2.2.3** *Saturación por contrapresión* – Generalmente, es necesario aplicar contrapresión para saturar la muestra. La Figura 153 -

3 proporciona una guía de la contrapresión requerida para alcanzar la saturación.

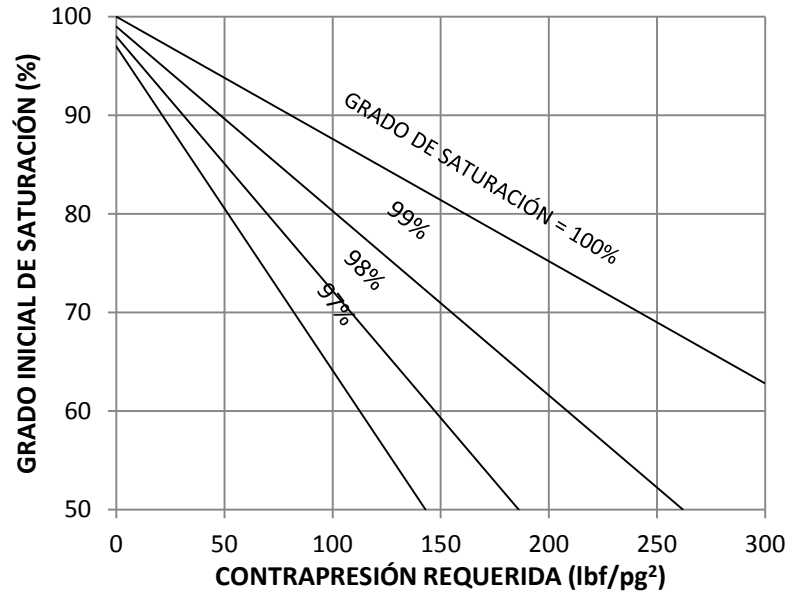


Figura 153 - 3. Presión para alcanzar varios grados de saturación

**7.2.2.3.1** *Aplicación de la contrapresión* – Con las válvulas de drenaje abiertas, se incrementan simultáneamente la contrapresión y la presión de cámara por etapas, de tal manera que el agua desaireada de la bureta conectada a la base y a la parte superior del espécimen pueda fluir dentro del mismo. Para evitar un pre-esfuerzo indeseable de la muestra mientras se aplica la contrapresión, las presiones se deben aplicar en incrementos, con un tiempo adecuado entre ellos para permitir la homogenización de la presión de poros a través de la muestra. Cada incremento puede estar entre 35 kPa (5 lbf/pg<sup>2</sup>) y 140 kPa (20 lbf/pg<sup>2</sup>), dependiendo de la magnitud del esfuerzo deseado de pre-consolidación efectiva, y del grado de saturación de la muestra justo antes de la aplicación del incremento. La diferencia entre la presión de cámara y la contrapresión durante la aplicación de esta última, no debe ser mayor que 35 kPa (5 lbf/pg<sup>2</sup>), a menos que

se considere necesario para controlar la expansión del suelo durante el procedimiento. La diferencia entre la presión de cámara y la contrapresión, debe permanecer dentro de  $\pm 5\%$  cuando se está incrementando la presión y dentro de  $\pm 2\%$  cuando la presión es constante. Para comprobar el equilibrio después de la aplicación de un incremento de contrapresión o después de que el valor total de la contrapresión ha sido aplicado, se cierran las válvulas de drenaje y se mide el cambio en la presión de poros durante un intervalo de 1 minuto. Si este cambio es menor que el 5 % de la diferencia entre la presión de cámara y la contrapresión, se requerirá de otro incremento de contrapresión o habrá que medir el parámetro B de la presión de poros (ver numeral 7.2.2.4), para verificar si la saturación es total. Si el parámetro B es mayor o igual que 0.95, o si B permanece constante bajo la aplicación de incrementos de contrapresión, se considera que la muestra está saturada.

*Nota 18: Las relaciones mostradas en la Figura 153 - 3 se basan en la premisa de que el agua usada para la contrapresión es desaireada y que la única fuente de aire que hay para disolver en el agua es el aire de la muestra de ensayo. Cuando se usa presión de aire para controlar la contrapresión, este aire presurizado se disolverá en el agua, reduciendo así la capacidad de los poros del espécimen. El problema se minimiza usando un tubo largo (> 5 m) impermeable al aire entre la interfaz aire-agua y la muestra; separando el agua de la contrapresión del aire presurizado empleando un material o fluido relativamente impermeable al aire; reemplazando periódicamente el agua de contrapresión por agua desaireada, o por otros medios.*

*Nota 19: Aunque el parámetro B de presión de poros se usa para determinar el grado de saturación, el valor B también es función de la rigidez del suelo. Si la saturación de la muestra es de 100 %, el valor de B será mayor cuanto menos rígido sea el suelo. De allí que en suelos blandos, un valor de 95 % para B pueda indicar una saturación menor de 100 %.*

*Nota 20: La contrapresión requerida para saturar un espécimen reconstituido puede ser mayor por el método húmedo que por el método de montaje en seco. Su valor puede ser tan grande como 1400 kPa (200 lbf/pg<sup>2</sup>).*



*Nota 21: En muchos laboratorios se usan reguladores y transductores de presión diferencial para cumplir los requerimientos de pequeñas diferencias entre la presión de la cámara y la contrapresión.*

**7.2.2.4 Medida del parámetro B de la presión de poros** – Para su determinación se siguen los pasos del 7.2.2.4.1 al 7.2.2.4.4. El parámetro B se define como:

$$B = \Delta u / \Delta \sigma_3 \quad [153.2]$$

Donde:  $\Delta u$ : Cambio en la presión de poros de la muestra, ocurrido como resultado del cambio en la presión de cámara cuando las válvulas de drenaje de la probeta están cerradas;

$\Delta \sigma_3$ : Cambio en la presión de cámara.

**7.2.2.4.1** Se cierran las válvulas de drenaje de la muestra, se registra la presión de poros con una aproximación de 0.7 kPa (0.1 lbf/pg<sup>2</sup>), y se incrementa la presión de cámara en 70 kPa (10 lbf/pg<sup>2</sup>).

**7.2.2.4.2** Después de 2 minutos, aproximadamente, se determina y se anota el máximo valor de presión de poros inducido con una aproximación de 0.7 kPa (0.1 lbf/pg<sup>2</sup>). En muchas muestras, se puede presentar una disminución de presión de poros inmediata pero después crece levemente con el tiempo. Si esto ocurre, los valores de  $\Delta u$  se deben dibujar contra el tiempo, usando luego la presión de poros asintótica como el cambio en la presión de poros. Un incremento grande de  $\Delta u$  con el tiempo, o valores de  $\Delta u$  mucho mayores que  $\Delta \sigma_3$ , indican una filtración del fluido de cámara hacia la muestra. Cuando los valores de  $\Delta u$  disminuyen con el tiempo, puede ser indicio de una fuga en la parte del sistema de medición de

presión de poros ubicada fuera de la cámara de compresión.

**7.2.2.4.3** Se calcula el valor B usando la ecuación mostrada en el numeral 7.2.2.4.

**7.2.2.4.4** Se vuelve a aplicar el mismo esfuerzo de consolidación que existía antes del proceso para encontrar el valor B; para esto, se reduce la presión de cámara en 70 kPa (10 lbf/pg<sup>2</sup>) o, alternativamente, se incrementa el valor de la contrapresión en 70 kPa (10 lbf/pg<sup>2</sup>). Si B continúa aumentando con el incremento de contrapresión, se continúa la saturación por contrapresión. Si B es igual o mayor que 0.95 o si la gráfica de B versus contrapresión indica que no hay un incremento adicional de B al aumentar la contrapresión, entonces se debe comenzar la consolidación.

**7.2.3** *Consolidación* – El objetivo de la fase de consolidación del ensayo es permitir que la muestra alcance el equilibrio en un estado drenado, a un esfuerzo de consolidación efectivo para el cual se desea encontrar la resistencia. Durante la consolidación, se obtienen datos para determinar cuándo se completa este proceso y para calcular la rata de deformación unitaria a emplear durante la etapa de corte del ensayo. A continuación se describe el procedimiento de consolidación:

**7.2.3.1** Cuando se ha terminado la fase de saturación, se coloca el pistón en contacto con el cabezal de la muestra y se registra la lectura del indicador de deformación con tres cifras significativas. Durante este proceso, se debe evitar la aplicación de una carga axial que exceda 0.5 % de la carga axial de falla estimada. Después de registrada la lectura, se eleva y se asegura el pistón.

**7.2.3.2** Con las válvulas de drenaje cerradas, se mantiene constante la máxima contrapresión y se incrementa la presión de cámara hasta que la diferencia entre la presión de cámara y la contrapresión sea igual que la presión efectiva de consolidación deseada. La consolidación en etapas es necesaria cuando el esfuerzo final efectivo de consolidación

es mayor que 40 kPa (5.8 lbf/pg<sup>2</sup>) y se usan bandas de filtro para el drenaje radial. La relación de incremento de carga, no debe ser mayor que 2.

- 7.2.3.3** Se obtiene una lectura inicial del aparato para medir cambios de volumen y, luego, se abren las válvulas de drenaje apropiadas de manera que el espécimen pueda drenar por ambos extremos hacia el dispositivo de cambio de volumen. Para cada intervalo de tiempo fijado (0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 4, 8, 15, y 30 min y 1, 2, 4, y 8 h, y así sucesivamente) se observan y registran las lecturas de cambio de volumen y, después de la lectura de los 15 min, se registran las lecturas del indicador de deformación, obtenidas colocando cuidadosamente el pistón sobre el cabezal de la muestra. Si se van a graficar las lecturas de cambio de volumen y del indicador de deformación contra la raíz cuadrada del tiempo, los intervalos de tiempo a los cuales se deben tomar las lecturas se pueden ajustar a aquellos que tengan raíces cuadradas exactas, por ejemplo, 0.09, 0.25, 0.49, 1, 4 y 9 min, y así sucesivamente. Dependiendo del tipo de suelo, los intervalos de lectura se pueden cambiar por otros que permitan una definición adecuada del cambio de volumen con el tiempo.

*Nota 22: En los casos en los cuales se laven cantidades significativas de finos del espécimen debido a altos gradientes hidráulicos iniciales, se permite incrementar gradualmente la presión de cámara hasta alcanzar la presión total requerida teniendo las válvulas de drenaje abiertas. El registro de los datos debe comenzar inmediatamente después de que se alcance la presión total.*

- 7.2.3.4** Se grafican los cambios de volumen y las lecturas del indicador de deformación contra el logaritmo del tiempo o contra la raíz cuadrada del tiempo. Se permite que la consolidación continúe por, al menos, un ciclo logarítmico de registro del tiempo o por una noche después de que se ha alcanzado el 100 % de la consolidación primaria, instante determinado de acuerdo con la norma INV E-151. Una desviación marcada entre las pendientes de las curvas de cambio de volumen y del indicador de deformación hacia el final de la consolidación, basadas en las lecturas del indicador de deformación, es señal de filtración del fluido de la cámara hacia el espécimen, y el ensayo se debe dar por terminado.

- 7.2.3.5** Se determina el tiempo para el 50 % de la consolidación primaria, siguiendo la norma INV E-151. Si la muestra se expande o no se consolida al final del esfuerzo efectivo de consolidación, se debe encontrar la razón para este comportamiento y se verifica si el equipo no está funcionando mal. Se puede tomar el dato de  $t_{50}$  de ensayos realizados sobre muestras similares, en los cuales se hayan empleado mayores esfuerzos finales de consolidación efectiva. Si no hay datos disponibles, se usará una velocidad de deformación unitaria de 1%/hora.
- 7.2.4** *Corte o falla de la muestra* – Durante el corte, la presión de cámara se debe mantener constante mientras que el pistón de carga axial avanza hacia abajo contra el cabezal del espécimen, usando una deformación unitaria axial controlada de acuerdo con el criterio de carga. No se permite el drenaje de la muestra durante la etapa de corte.
- 7.2.4.1** *Antes de la carga axial* – Antes de iniciar el corte, se ejecutan las siguientes acciones:
- 7.2.4.1.1** Abriendo o cerrando las válvulas apropiadas se aísla el espécimen de manera que durante el corte se puedan tomar lecturas de presión de poros y no se presente drenaje.
  - 7.2.4.1.2** Se coloca la cámara en posición en el dispositivo de carga axial. Se deben alinear el dispositivo de carga axial, el aparato de medida de carga y la cámara triaxial, para evitar la aplicación de una fuerza lateral al pistón durante el corte.
  - 7.2.4.1.3** Se pone en contacto el pistón de carga con el cabezal de la muestra para permitir un adecuado asentamiento y alineación. Durante este proceso, se debe tener cuidado de no aplicar una carga mayor que 0.5 % de la carga de falla estimada. Si el aparato para medir la carga axial está localizado por fuera de la cámara triaxial, la presión de cámara producirá una fuerza hacia arriba sobre el pistón, el cual reaccionará contra el aparato de carga axial. Para tomar esto en cuenta, se comienza el corte

con el pistón ubicado levemente encima del cabezal, y antes de que el pistón entre en contacto con aquel: (1) se mide y registra la fricción inicial del pistón y el empuje del pistón hacia arriba, producido por la presión de cámara y después se corrige la carga axial medida, o (2) se ajusta el aparato de medición de carga axial para compensar la fricción y el empuje. La variación en la lectura del aparato de medición de carga axial no debe ser mayor que 0.1 % de la carga estimada de falla cuando el pistón se mueva hacia abajo antes de entrar en contacto con el cabezal. Cuando el dispositivo para medir la carga axial está dentro de la cámara, no son necesarias estas correcciones. Sin embargo, si se usa un aparato interno muy flexible para la medida de la carga en combinación con un medidor de deformación externo, será necesario corregir las lecturas de deformación. En ambos casos, se debe registrar la lectura inicial del aparato de medida de presión de poros, con una aproximación de 0.7 kPa (0.1 lbf/pg<sup>2</sup>), inmediatamente antes de que el pistón entre en contacto con el cabezal, y se toma la lectura del medidor de deformación, con tres dígitos significativos, cuando el pistón contacte el cabezal.

**7.2.4.1.4** Se verifica la estabilización de la presión de poros. Se registra la presión de poros con una aproximación de 0.7 kPa (0.1 lbf/pg<sup>2</sup>). Se cierran las válvulas de drenaje del espécimen y se mide el cambio de presión de poros hasta cuando se estabilice. Si este cambio es menor que el 5 % de la presión de cámara, se puede asumir que la presión de poros es estable.

**7.2.4.2** *Carga axial* – Se aplica la carga axial a la muestra usando una velocidad de deformación unitaria axial tal, que produzca una presión de poros aproximadamente igual a través de todo el espécimen en la falla. Si se asume que la falla ocurre después

de 4 % de deformación, se puede determinar una velocidad de deformación unitaria adecuada,  $\dot{\epsilon}$ , a partir de la siguiente ecuación:

$$\dot{\epsilon} = \frac{4 \%}{10 t_{50}} \quad [153.3]$$

Donde:  $t_{50}$ : Valor de tiempo obtenido en el numeral 7.2.3.5.

Si se espera que la falla ocurra a un valor de deformación menor que 4 %, la velocidad adecuada de deformación se determina usando esta ecuación, pero reemplazando el 4 % por la deformación unitaria estimada en la falla. Esta velocidad de deformación sirve para determinar las trayectorias precisas del esfuerzo efectivo en el rango necesario para definir las envolventes de resistencia efectiva.

**7.2.4.2.1** Como mínimo, la carga y la deformación se deben registrar con tres dígitos significativos, y los valores de presión de poros con una aproximación de 0.7 kPa (0.1 lbf/pg<sup>2</sup>) para incrementos de 0.1 a 1 % de deformación unitaria y, a partir de éstos, cada 1 %. Se deben tomar suficientes lecturas para definir la curva esfuerzo-deformación unitaria; es probable que se requieran lecturas más frecuentes en las etapas tempranas del ensayo y a medida que se aproxima la falla. Se continúa la carga hasta el 15 % de deformación unitaria, excepto cuando se presente una caída del 20 % en el esfuerzo desviador (diferencia de esfuerzos principales), o cuando se complete una deformación adicional del 5 % después de un pico en el esfuerzo desviador.

*Nota 23: El uso de un detector de nulos de ajuste manual requerirá mayor atención y seguimiento constante para asegurar el criterio de corte no drenado.*

## 8 REMOCIÓN DE LA MUESTRA

---

- 8.1** Una vez terminada la etapa de corte, se realizan los siguientes pasos:
- 8.1.1** Se remueve la carga axial y se reducen las presiones de cámara y de contrapresión a cero.
  - 8.1.2** Con las válvulas de drenaje de la muestra cerradas, se retira rápidamente el espécimen, de tal manera que no haya tiempo para que absorba agua de los discos porosos.
  - 8.1.3** Se retira la membrana de caucho (y las bandas o tiras en forma de rejilla de papel de filtro del espécimen) y se determina el contenido de agua de la muestra total de acuerdo con la norma INV E-122 (Si queda agua libre en la muestra después de retirar la membrana, se debe secar antes de obtener la humedad). Si los recortes o residuos producto del labrado de la muestra son insuficientes para realizar los ensayos correspondientes a las propiedades índice, la muestra se debe pesar y posteriormente se fragmenta para completar la cantidad requerida para las pruebas de granulometría, límites y humedad final. Es importante, antes de dividirlo o secarlo, tomar fotos del espécimen que muestren el modo de falla (falla frágil, falla abombada, etc.).

## 9 CÁLCULOS

---

- 9.1** Las medidas y los cálculos tendrán 3 dígitos significativos.
- 9.2** *Ensayo triaxial tipo no consolidado no drenado:*
- 9.2.1** Se calcula la deformación unitaria axial,  $\epsilon$  (expresada como decimal), para una carga axial dada, así:

$$\epsilon = \Delta H / H_0 \quad [153.4]$$

Donde:  $\Delta H$ : Cambio de altura de la muestra durante la carga, determinado por el indicador de deformación;

$H_0$ : Altura inicial de la muestra menos cualquier cambio en la longitud antes de la carga.

- 9.2.2** Se calcula el área de la sección transversal,  $A$ , para una carga axial dada, como sigue:

$$A = A_0 / (1 - \epsilon) \quad [153.5]$$

- Donde:  $A_0$ : Área promedio inicial de la sección transversal del espécimen,  $\text{cm}^2$  o  $\text{mm}^2$ ;
- $\epsilon$ : Deformación axial (en formato decimal) para una carga axial dada.

*Nota 24: En caso de que la aplicación de la presión de cámara genere un cambio en la longitud del espécimen, se debe corregir  $A_0$ , para reflejar este cambio en volumen. Generalmente, se asume para esto que las deformaciones unitarias laterales son iguales a las verticales. El diámetro después del cambio de volumen está dado por  $D = D_0(1 - \Delta H/H)$ .*

- 9.2.3** Se calcula el esfuerzo desviador o la diferencia de esfuerzos principales,  $\sigma_1 - \sigma_3$ , para una carga axial aplicada, como sigue:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = P/A \quad [153.6]$$

- Donde:  $\sigma_1 - \sigma_3$ : Diferencia de esfuerzos principales o esfuerzo desviador;
- $P$ : Carga axial aplicada medida (corregida por efecto del levantamiento y la fricción del pistón de acuerdo con 7.1.2);
- $A$ : Área promedio de la sección transversal correspondiente.

- 9.2.4** *Curva esfuerzo–deformación unitaria* – Se prepara una gráfica que muestre la relación entre el esfuerzo desviador (eje de las ordenadas) y la deformación unitaria axial en porcentaje (eje de las abscisas). Se selecciona la resistencia a la compresión y la deformación unitaria axial en la falla, de acuerdo con las definiciones 2.1.1 y 2.1.2.

- 9.2.5** *Corrección por el uso de la membrana de caucho* – Se usa la siguiente ecuación para corregir el esfuerzo desviador por efecto del uso de la membrana de caucho, cuando el error en este esfuerzo debido a la rigidez de la membrana exceda 5 %:



$$\Delta(\sigma_1 - \sigma_3)_m = 4E_m t_m \varepsilon_1 / D \quad [153.7]$$

Donde:  $\Delta(\sigma_1 - \sigma_3)_m$ : Corrección por efecto de la membrana, que se aplica sustrayéndola del esfuerzo desviador principal medido;

$D = (4A/\pi)^{0.5}$ : Diámetro del espécimen;

$E_m$ : Módulo de Young del material de la membrana;

$t_m$ : Espesor de la membrana;

$\varepsilon_1$ : Deformación unitaria axial (en forma decimal).

**9.2.5.1** El módulo de Young del material de la membrana se puede determinar así: se cuelga una tira de membrana de 10 mm de ancho sobre una varilla delgada; se coloca otra varilla a través de la parte inferior de la membrana colgada y se mide la fuerza necesaria para estirar la membrana. El valor del módulo se obtiene a partir de la expresión:

$$E_m = (F / A_m) / (\Delta L / L) \quad [153.8]$$

Donde:  $E_m$ : Módulo de Young del material de la membrana (para membranas de látex, el valor típico del módulo es de 1400 kN/m<sup>2</sup>);

F: Fuerza aplicada para estirar la membrana;

L: Longitud (sin estirar) de la membrana;

$\Delta L$ : Cambio en la longitud de la membrana debido a la fuerza, F;

$A_m$ : Dos veces el espesor inicial de la membrana multiplicado por su ancho =  $2 t_m W_s$ .

*Nota 25: El efecto de la rigidez de la membrana sobre el esfuerzo lateral es despreciable en la mayoría de los casos.*

*Nota 26: Las correcciones por efecto de las membranas se basan en suposiciones hechas a partir de su comportamiento durante el corte. Su comportamiento real es complejo y no existe consenso sobre correcciones más exactas.*

**9.2.6** Se calculan los esfuerzos principales mayor y menor en la falla, como sigue:

$\sigma_3$ : Esfuerzo principal menor total = presión de cámara;

$\sigma_1$ : Esfuerzo principal mayor total = esfuerzo desviador en la falla más presión de cámara.

**9.2.7** Se calcula el grado inicial de saturación del espécimen del ensayo, usando los datos iniciales de dimensiones y masa.

*Nota 27: La gravedad específica de sólidos se determina de acuerdo con la norma INV E-128 y puede ser tomada de ensayos previos.*

### **9.3** Ensayo triaxial tipo consolidado no drenado:

*Nota 28: Sólo se muestran cálculos en unidades del sistema internacional. Para emplear otras unidades, se deben usar las conversiones apropiadas para mantener la consistencia.*

**9.3.1** *Propiedades iniciales del espécimen* – Conocida la masa seca total del espécimen, se calculan y anotan el contenido de humedad inicial, el volumen de sólidos, la relación inicial de vacíos, el porcentaje inicial de saturación y el peso unitario seco inicial. Se calcula el volumen de la probeta a partir de los valores medidos en 5.4. Se calcula el volumen de sólidos dividiendo la masa seca del espécimen por la gravedad específica de sólidos (nota 27) y dividiendo por la densidad del agua. La relación de vacíos se determina dividiendo el volumen de vacíos por el volumen de sólidos, asumiendo el volumen de vacíos como la diferencia entre el volumen de la muestra y el volumen de los sólidos. Se calcula la densidad seca, dividiendo la masa seca del espécimen por su volumen.

**9.3.2** *Propiedades del espécimen después de la consolidación* – Se calculan la altura y el área de la muestra después de la consolidación, como sigue:

**9.3.2.1** La altura de la probeta después de la consolidación se determina con la ecuación:

$$H_c = H_0 - \Delta H_0 \quad [153.9]$$

Donde:  $H_0$ : Altura inicial del espécimen, mm o cm;

$\Delta H_0$ : Cambio de altura al final de la consolidación, mm o cm.

**9.3.2.2** El área de la sección transversal de la probeta después de la consolidación,  $A_c$ , se puede calcular usando uno de los siguientes métodos. El método A se emplea cuando los datos de corte se van calculando a medida que se realiza el ensayo. Adicionalmente, se puede elegir éste o el método B, a criterio del ingeniero, cuando se considere que los parámetros de cálculo requeridos son más representativos del estado de la muestra después de la consolidación. Como alternativa, resulta aceptable usar el promedio de las áreas calculadas por los dos métodos.

**9.3.2.2.1** *Método A:*

$$A_c = [V_0 - \Delta V_{\text{sat}} - \Delta V_c] / H_c \quad [153.10]$$

Donde:  $A_c$ : Área después de la consolidación,  $\text{cm}^2$  o  $\text{m}^2$ ;

$V_0$ : Volumen inicial del espécimen,  $\text{cm}^3$  o  $\text{m}^3$ ;

$\Delta V_c$ : Cambio en el volumen del espécimen durante la consolidación, de acuerdo con las lecturas de la bureta,  $\text{cm}^3$  o  $\text{m}^3$ ;

$\Delta V_{\text{sat}}$ : Cambio en volumen del espécimen durante la saturación,  $\text{cm}^3$  o  $\text{m}^3$ , calculado como sigue:

$$\Delta V_{\text{sat}} = 3V_0 [\Delta H_s / H_0] \quad [153.11]$$

Donde:  $\Delta H_s$ : Cambio en altura del espécimen durante saturación, mm, cm, o m.

#### 9.3.2.2.2 Método B:

$$A_c = (V_{\text{wf}} + V_s) / H_c \quad [153.12]$$

Donde:  $V_{\text{wf}}$ : Volumen final de agua (basado en la humedad final),  $\text{cm}^3$  o  $\text{m}^3$ ;

$V_s$ : Volumen de sólidos,  $\text{cm}^3$  o  $\text{m}^3$ , que se calcula así:

$$V_s = w_s / (G_s \rho_w) \quad [153.13]$$

Donde:  $w_s$ : Masa seca del espécimen, g;

$G_s$ : Gravedad específica de los sólidos;

$\rho_w$ : Densidad del agua a 20° C, 0.9982  $\text{g}/\text{cm}^3$ .

**9.3.2.3** Se determinan la relación de vacíos después de la consolidación y el porcentaje de saturación, usando las dimensiones calculadas del espécimen después de la consolidación, y asumiendo que la humedad después de la consolidación es la humedad final.

*Nota 29: Cuando se considere significativa la cantidad de agua que absorbe el espécimen, proveniente de los discos porosos y de las líneas de drenaje durante el tiempo en que está siendo removido del aparato triaxial, se recomienda emplear el método A.*

*Nota 30: En este ensayo, las ecuaciones están escritas de tal manera que la consolidación y la compresión se consideran positivas.*

**9.3.3 Datos del corte:**

**9.3.3.1** Se calcula la deformación axial,  $\epsilon_1$ , para una carga dada, así:

$$\epsilon_1 = \Delta H / H_c \quad [153.14]$$

Donde:  $\Delta H$ : Cambio de altura de la muestra durante la carga, determinado por las lecturas del indicador de deformación, mm o cm;

$H_c$ : Altura de la muestra después de la consolidación, mm o cm.

**9.3.3.2** Se calcula el área de la sección transversal A, para una carga axial dada, como sigue:

$$A = A_c / (1 - \epsilon_1) \quad [153.15]$$

Donde:  $A_c$ : Área promedio de la sección transversal del espécimen después de la consolidación,  $\text{cm}^2$  o  $\text{m}^2$ ;

$\epsilon_1$ : Deformación axial (en formato decimal) para la carga axial dada.

*Nota 31: El área transversal calculada de esta manera se basa en la premisa de que el espécimen se deforma como un cilindro circular recto durante el corte. En casos en los cuales se produzca un hinchamiento localizado, es posible determinar valores más aproximados del área a partir de las medidas del espécimen tomadas después del corte.*

**9.3.3.3** Se calcula el esfuerzo desviador o la diferencia de esfuerzos principales medidos,  $\sigma_1 - \sigma_3$ , para una carga axial aplicada, como sigue:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = P/A \quad [153.16]$$

Donde:  $\sigma_1 - \sigma_3$ : Diferencia de esfuerzos principales o esfuerzo desviador,  $\text{kN/m}^2 = \text{kPa}$ ;

- P: Carga axial aplicada dada (corregida por efecto del levantamiento y la fricción del pistón, si se requiere), kN.
- A: Área de la sección transversal correspondiente, cm<sup>2</sup> o m<sup>2</sup>.

**9.3.3.3.1** *Corrección por efecto de las tiras o bandas de papel de filtro* – Para tiras verticales de papel filtro que se extiendan sobre el total de la altura de la muestra, se debe aplicar una corrección sobre el esfuerzo desviador cuando el error en éste debido a la resistencia de las bandas de papel filtro excede de 5 %.

(1) Para valores de deformación unitaria axial superiores a 2 %, se debe usar la siguiente ecuación para calcular la corrección:

$$\Delta(\sigma_1 - \sigma_3)_{fp} = K_{fp} P_{fp} / A_c \quad [153.17]$$

Donde:  $\Delta(\sigma_1 - \sigma_3)_{fp}$ : Corrección por uso del papel filtro, que se debe restar del esfuerzo desviador medido, kN/m<sup>2</sup> = kPa;

$K_{fp}$ : Carga soportada por las bandas de papel filtro, calculada por unidad de longitud de perímetro cubierto por el papel, en kN/mm o kN/m (Ver nota 32);

$P_{fp}$ : Perímetro cubierto por el papel filtro, mm o m;

$A_c$ : Área promedio de la sección transversal del

espécimen después de la consolidación,  $\text{cm}^2$  o  $\text{m}^2$ ;

(2) Para valores de deformación unitaria axial de 2 % o menores, se debe usar la siguiente ecuación para calcular la corrección:

$$\Delta(\sigma_1 - \sigma_3)_{fp} = 50 \varepsilon_1 K_{fp} P_{fp} / A_c \quad [153.18]$$

Donde: 50: Deformación unitaria axial límite en formato decimal;

$\varepsilon_1$ : Deformación unitaria axial (en formato decimal) para la carga axial dada. Los demás términos se definieron en el sub-párrafo (1) de este numeral

*Nota 32: Para el papel filtro que se usa generalmente en los ensayos de triaxial,  $K_{fp}$  es, aproximadamente, 0.00019 kN/mm (1.1 lbf/pg).*

**9.3.3.3.2** *Corrección por el uso de la membrana de caucho* – Se emplea la siguiente ecuación para corregir el esfuerzo desviador por efecto del uso de la membrana de caucho, cuando el error en este esfuerzo debido a la rigidez de la membrana excede de 5 %:

$$\Delta(\sigma_1 - \sigma_3)_m = (4E_m t_m \varepsilon_1) / D_c \quad [153.19]$$

Donde:  $\Delta(\sigma_1 - \sigma_3)_m$ : Corrección por efecto de la membrana, que se aplica sustrayéndola del esfuerzo desviador principal medido,  $\text{kN/m}^2 = \text{kPa}$ ;

$D_c = (4A_c/\pi)^{0.5}$ : Diámetro del espécimen después de la consolidación, mm o cm;

$E_m$ :	Módulo de Young para el material de la membrana, $\text{kN/m}^2 = \text{kPa}$ ;
$t_m$ :	Espesor de la membrana, mm o cm;
$\varepsilon_1$ :	Deformación unitaria axial (en forma decimal).

(1) El módulo de Young del material de la membrana se puede determinar así: se cuelga una tira de membrana de 15 mm de ancho sobre una varilla delgada; se coloca otra varilla a través de la parte inferior de la membrana colgada y se mide la fuerza necesaria para estirar la membrana. El valor del módulo se obtiene a partir de la expresión:

$$E_m = (F/A_m) / (\Delta L/L) \quad [153.20]$$

Donde:	$E_m$ :	Módulo de Young del material de la membrana (nota 33);
	F:	Fuerza aplicada para estirar la membrana;
	L:	Longitud (sin estirar) de la membrana;
	$\Delta L$ :	Cambio en la longitud de la membrana debido a la fuerza, F;
	$A_m$ :	Dos veces el espesor inicial de la membrana multiplicado por su ancho = $2 t_m W_s$ .

*Nota 33: Para membranas de látex, el valor típico de  $E_m$  es de 1400  $\text{kN/m}^2$  (200 kPa)*

*Nota 34: Las correcciones por efecto de las bandas de papel de filtro y de las membranas, se basan en suposiciones hechas a partir de su comportamiento durante el corte. Su comportamiento real es complejo y no existe consenso sobre correcciones más exactas.*



**9.3.3.3.3** *Esfuerzo desviador principal corregido* – Este valor se calcula como sigue:

$$(\sigma_1 - \sigma_3)_{c=P/A} - (\sigma_1 - \sigma_3)_{fp} - (\sigma_1 - \sigma_3)_m \quad [153.21]$$

Donde:  $(\sigma_1 - \sigma_3)_c$ : Diferencia corregida de esfuerzos principales o esfuerzo desviador corregido,  $\text{kN/m}^2 = \text{kPa}$ .

**9.3.3.4** Se calcula el esfuerzo efectivo principal menor,  $\sigma_3'$ , para una carga axial aplicada, como sigue:

$$\sigma_3' = \sigma_3 - \Delta u \quad [153.22]$$

Donde:  $\sigma_3'$ : Esfuerzo efectivo principal menor para la carga axial dada, kPa;

$\sigma_3$ : Esfuerzo principal menor para la carga axial dada, kPa;

$\Delta u$ : Presión de poros inducida para la carga axial dada (presión total de poros menos contrapresión total), kPa.

**9.3.4** *Curvas de deformación unitaria contra presión de poros inducida y esfuerzo desviador* – Se deben preparar gráficas que muestren las relaciones entre el esfuerzo desviador y la presión de poros inducida (ambas en las ordenadas) con la deformación unitaria axial (en el eje de las abscisas). Se selecciona el esfuerzo desviador (diferencia de esfuerzos principales) y la deformación axial en la falla, de acuerdo con el numeral 2.1.1.

**9.3.5** *Diagrama  $p'-q$*  – Se debe preparar una gráfica que muestre la relación entre  $p'$  y  $q$ , dibujando  $q$  en las ordenadas y  $p'$  en las abscisas, usando la misma escala. Los valores de  $p'$  y  $q$  para una carga axial dada, se calculan como sigue:

$$p' = \frac{[(\sigma_1 - \sigma_3)_c + 2\sigma'_3]}{2} = \frac{(\sigma'_1 + \sigma'_3)}{2} \quad [153.23]$$

$$q = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)_c}{2} \quad [153.24]$$

Donde:  $(\sigma_1 - \sigma_3)_c$ : Diferencia corregida de esfuerzos principales o esfuerzo desviador corregido,  $\text{kN/m}^2 = \text{kPa}$ ;

$\sigma'_3$ : Esfuerzo principal menor efectivo,  $\text{kPa}$ .

**9.3.6** Se determinan los esfuerzos principales mayor y menor en la falla, en términos de esfuerzos totales,  $\sigma_{1f}$  y  $\sigma_{3f}$  respectivamente, y de esfuerzos efectivos,  $\sigma'_{1f}$  y  $\sigma'_{3f}$ , respectivamente, como sigue:

$\sigma'_{3f}$  = esfuerzo efectivo de consolidación

$$\sigma_{1f} = (\sigma_1 - \sigma_3)_{cf} + \sigma_{3f} \quad [153.25]$$

$$\sigma'_{3f} = \sigma_{3f} - \Delta u_f \quad [153.26]$$

$$\sigma'_{1f} = (\sigma_1 - \sigma_3)_{cf} + \sigma'_{3f} \quad [153.27]$$

Donde :  $\Delta u_f$ : presión de poros inducida en la falla.

**9.3.7** *Círculos de esfuerzos Mohr* – Se pueden construir los círculos de esfuerzos de Mohr en la falla, con base en esfuerzos efectivos y en esfuerzos totales, sobre una gráfica que tiene por ordenadas los esfuerzos de corte y por abscisas los esfuerzos normales, usando las mismas escalas (Figura 153 - 4). El círculo de esfuerzos totales se dibuja tomando como radio la mitad del esfuerzo desviador a la falla y como centro, la semisuma de los esfuerzos principales totales mayor y menor. El círculo de Mohr basado en esfuerzos efectivos se construye de igual manera, excepto que el centro es la semisuma de los esfuerzos principales efectivos mayor y menor.

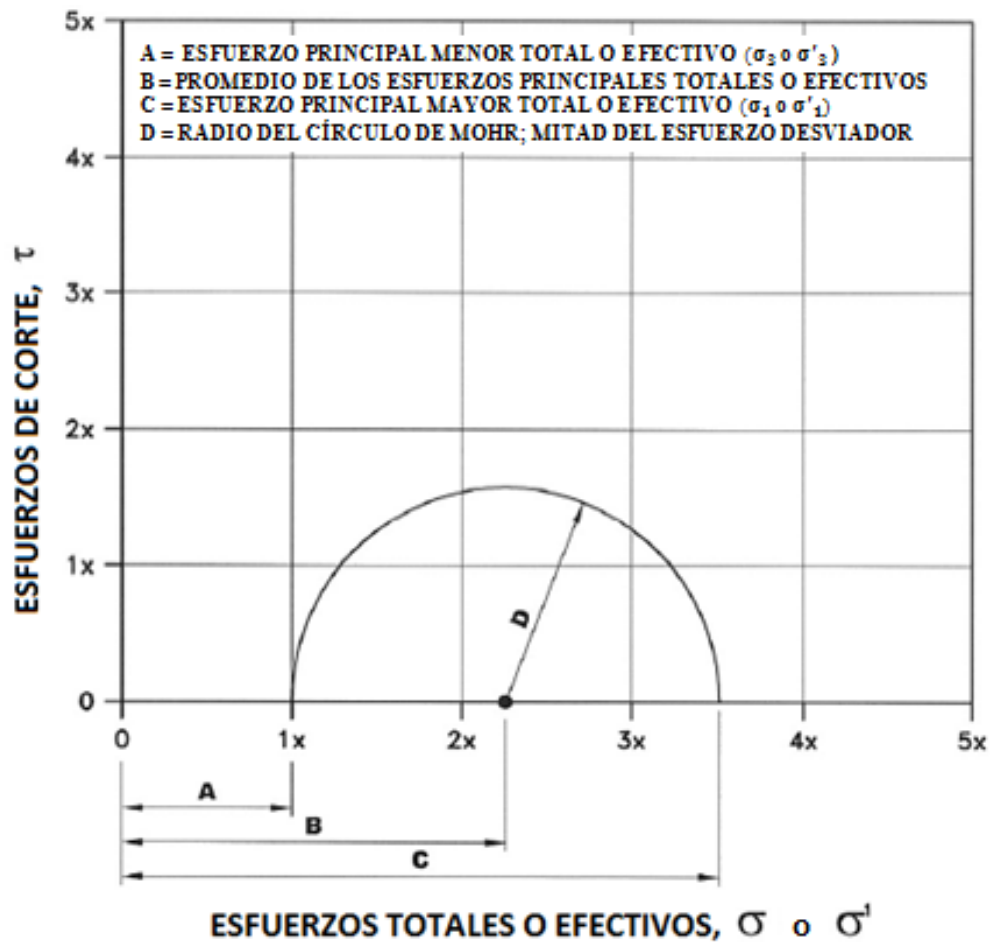


Figura 153 - 4. Construcción del círculo de esfuerzos de Mohr

## 10 INFORME

**10.1** Para cada uno de los ensayos descritos en esta norma, se debe incluir la siguiente información (no todos los datos solicitados aplican para el ensayo triaxial no consolidado no drenado, UU):

**10.1.1** Identificación y descripción visual del espécimen, incluyendo la clasificación del suelo y el tipo de muestra (inalterada, reconstituida, o preparada de otra manera).

**10.1.2** Límites de Atterberg, de acuerdo con las normas INV E-125 e INV E-126.

**10.1.3** Gravedad específica de sólidos, según la norma de ensayo INV E-128.

- 10.1.4** Análisis granulométrico (Norma INV E-123).
- 10.1.5** Valores iniciales de peso unitario seco, relación de vacíos, humedad, porcentaje de saturación (especificar si la humedad fue obtenida de la muestra total o de cortes al conformarla).
- Nota 35: Es necesario conocer la gravedad específica para el cálculo de la saturación. Se debe informar cuando la gravedad específica tomada para este ensayo sea asumida.*
- 10.1.6** Altura y diámetro inicial del espécimen.
- 10.1.7** Método seguido para saturar el espécimen (método seco o húmedo).
- 10.1.8** Contrapresión.
- 10.1.9** Parámetro de presión de poros B al final de la saturación.
- 10.1.10** Esfuerzo efectivo de consolidación.
- 10.1.11** Tiempo para el 50 % de la consolidación primaria.
- 10.1.12** Peso unitario seco, relación de vacíos, humedad y porcentaje de saturación después de la consolidación.
- 10.1.13** Área de la sección transversal de la muestra después de la consolidación y método usado para calcularla.
- 10.1.14** Criterio de falla usado.
- 10.1.15** Valor del esfuerzo desviador en la falla y los valores de los esfuerzos principales efectivos mayor y menor en la falla (indicando las correcciones hechas por membrana y/o papel filtro).
- 10.1.16** Deformación unitaria axial en la falla, en porcentaje.
- 10.1.17** Velocidad de deformación unitaria, porcentaje por minuto.
- 10.1.18** Resistencia a la compresión y valores de los esfuerzos principales mayor y menor en el momento de la falla (ensayo UU); indicando si los valores fueron corregidos por efecto de la membrana.
- 10.1.19** Curva esfuerzo-deformación unitaria; ver 9.2.4.

- 10.1.20 Curvas de esfuerzo desviador y presión de poros inducida versus deformación unitaria axial, como se describe en 9.3.4.
- 10.1.21 Diagrama  $p' - q$ , numeral 9.3.5.
- 10.1.22 Círculos de esfuerzos de Mohr basados en esfuerzos totales y efectivos (opcional).
- 10.1.23 Pendiente del ángulo de la superficie de falla (opcional).
- 10.1.24 Esquema o fotografía de la muestra fallada.
- 10.1.25 Comentarios y anotaciones sobre condiciones inusuales como superficies de deslizamiento, estratificación, presencia de guijarros, conchas, raíces, y cualquier otra información pertinente para interpretar los resultados obtenidos, incluyendo las alteraciones del procedimiento descrito en la norma.

## 11 PRECISIÓN Y SESGO

---

- 11.1 *Precisión* – No hay datos disponibles sobre precisión del ensayo debido a la naturaleza de los materiales ensayados. Adicionalmente, no es posible o resulta demasiado costoso contar con 10 o más laboratorios que participen simultáneamente en un programa de ensayos a petición.
- 11.2 *Sesgo* – No hay valores de referencia aceptados para este método de ensayo, de allí que no se pueda determinar el sesgo.

## 12 NORMAS DE REFERENCIA

---

ASTM D 4767 – 11

ASTM D 2850/03a (reaprobada 2007)

**Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente**

## ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN CONDICIÓN CONSOLIDADA DRENADA (CD)

INV E – 154 – 13

### 1 OBJETO

---

- 1.1** Esta norma tiene por objeto establecer el procedimiento de ensayo para determinar la resistencia al corte de una muestra de suelo consolidada y drenada, empleando el método de corte directo. La prueba se lleva a cabo deformando una muestra a velocidad controlada, cerca a un plano de corte determinado por la configuración del aparato de ensayo.
- 1.2** Los esfuerzos de corte y los desplazamientos no se distribuyen uniformemente dentro de la muestra y no se puede definir una altura apropiada para el cálculo de las deformaciones por corte. En consecuencia, a partir de este ensayo no es posible determinar las relaciones esfuerzo-deformación o cualquier otro valor asociado, como el módulo de corte.
- 1.3** La determinación de las envolventes de resistencia y el desarrollo de pautas para interpretar y evaluar los resultados del ensayo, se dejan a criterio del cliente que solicita el ensayo.
- 1.4** Los resultados del ensayo se pueden ver afectados por la presencia de partículas de suelo grueso o fragmentos de roca, o ambos (Ver la Sección 6).
- 1.5** Las condiciones del ensayo, incluyendo los esfuerzos normales y la humedad, se deberán escoger de manera que representen las condiciones de campo que se investigan. La velocidad de deformación debe ser suficientemente lenta para asegurar condiciones de drenaje equivalentes a una presión intersticial nula.
- 1.6** Generalmente, se ensayan tres o más especímenes, cada uno bajo una carga normal diferente para determinar su efecto sobre la resistencia al corte y al desplazamiento. Los resultados de una serie de ensayos se combinan para determinar propiedades de resistencia del suelo, como las envolventes de resistencia de Mohr.
- 1.7** Hay ocasiones en las cuales se debe incrementar el espacio vacío entre las dos mitades de la caja de corte para acomodar partículas de arena de tamaño mayor a dicho espacio. Hasta la fecha, no hay suficiente información

disponible para especificar el tamaño de ese vacío en función de la distribución de los tamaños de las partículas.

**1.8** Esta norma reemplaza la norma INV E-154-07.

## 2 DEFINICIONES

---

**2.1** Los siguientes términos son aplicables específicamente a esta norma:

**2.1.1** *Falla* – Es la condición de esfuerzo en el instante de la falla de un espécimen de ensayo. Normalmente, se acepta que la falla corresponde al máximo esfuerzo de corte alcanzado o, en ausencia de una condición pico, al esfuerzo de corte cuando ha tenido lugar el 10 % de desplazamiento lateral relativo. Dependiendo del comportamiento del suelo y de la aplicación en el campo, se pueden definir otros criterios adecuados por parte de quien solicita la ejecución del ensayo.

**2.1.2** *Esfuerzo normal nominal* – En el ensayo de corte directo, es la fuerza normal (vertical) aplicada, dividida por el área de la caja de corte. El área de contacto del espécimen en el plano de corte impuesto, decrece durante el ensayo y, por lo tanto, el verdadero esfuerzo normal es desconocido.

**2.1.3** *Esfuerzo cortante nominal* – En el ensayo de corte directo, es la fuerza de corte aplicada, dividida por el área de la caja de corte. El área de contacto del espécimen en el plano de corte impuesto, decrece durante el ensayo y, por lo tanto, el verdadero esfuerzo cortante es desconocido.

**2.1.4** *Desplazamiento lateral relativo* – Es el desplazamiento de la mitad superior (marco superior) de la caja de corte con respecto a la mitad inferior (marco inferior).

**2.1.5** *Porcentaje de desplazamiento lateral relativo* – Relación, en porcentaje, entre el desplazamiento horizontal y el diámetro o dimensión lateral del espécimen en la dirección del corte.

**2.1.6** *Precorte* – Corresponde a la etapa del ensayo luego de que el espécimen se ha estabilizado bajo la condición de la carga de consolidación, justamente antes de comenzar la fase de corte.



### 3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1 Este ensayo consiste en colocar el espécimen del ensayo en un dispositivo de corte directo, aplicar luego un esfuerzo normal determinado, humedecer y/ o drenar el espécimen de ensayo, consolidar el espécimen bajo el esfuerzo normal, desbloquear las mitades (marcos) de la caja de corte que contiene la muestra, y desplazar horizontalmente una mitad respecto de la otra a una velocidad constante de deformación, mientras se miden la fuerza de corte y los desplazamientos normales y horizontales (Figura 154 - 1). La velocidad de corte debe ser suficientemente lenta para permitir la disipación prácticamente total del exceso de presión de poros.

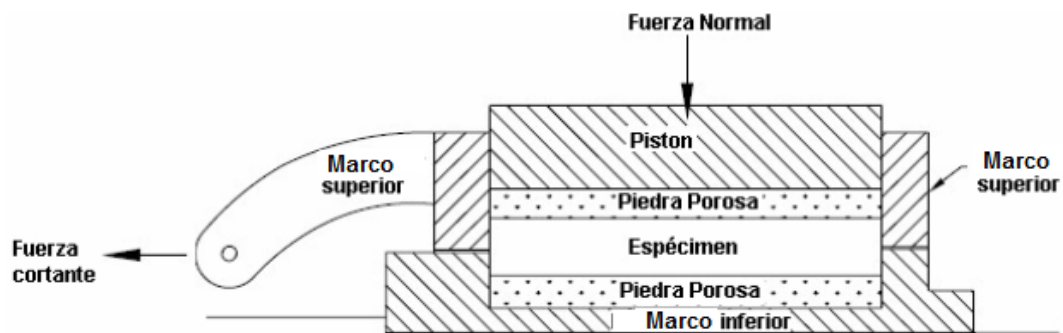


Figura 154 - 1. Caja para el ensayo de corte directo

### 4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1 El ensayo de corte directo es adecuado para la determinación, relativamente rápida, de las propiedades de resistencia de materiales consolidados y drenados. Debido a que las trayectorias de drenaje a través de la muestra son cortas, se permite que el exceso de presión en los poros se disipe con mayor rapidez que en otros ensayos drenados. El ensayo se puede realizar sobre cualquier tipo de suelo, inalterado, remoldeado o compactado. Hay, sin embargo, una limitación en relación con el tamaño máximo de partícula (Ver numeral 5.2).
- 4.2 Los resultados del ensayo son aplicables para estimar la resistencia al corte en una situación de campo donde ha tenido lugar una consolidación completa bajo los esfuerzos normales actuales. La falla ocurre lentamente bajo condiciones drenadas, de tal manera que se disipan los excesos de presión de poros. La velocidad de corte debe satisfacer los requisitos mencionados en el numeral 8.10. Se pueden utilizar los resultados de varios ensayos para expresar la relación entre los esfuerzos de consolidación y la resistencia al corte en condiciones drenadas.

*Nota 1: El equipo especificado en esta norma no es apropiado para la ejecución de ensayos de corte en condición no drenada. El uso de una elevada velocidad de desplazamiento sin un control adecuado del volumen de la muestra se traduce en un drenaje parcial y, por lo tanto, en medidas incorrectas de los parámetros de corte.*

- 4.3** Durante el ensayo de corte directo hay rotación de los esfuerzos principales, lo que puede o no corresponder a las condiciones de campo. Aun más, puede que la falla no ocurra en el plano más débil, puesto que ella es forzada a producirse en o cerca de un plano horizontal en la parte media del espécimen. La localización fija del plano de falla en el ensayo puede ser ventajosa en la determinación de la resistencia al corte a lo largo de planos débiles reconocibles dentro del material del suelo y para analizar las interfaces entre distintos materiales.
- 4.4** Los esfuerzos de corte y los desplazamientos no se distribuyen uniformemente dentro de la muestra y no se puede definir una altura apropiada para calcular las deformaciones de corte o cualquier otra cantidad asociada que sea de interés en los estudios geotécnicos. La baja velocidad de desplazamiento asegura la disipación de los excesos de presión de los poros pero, también, permite el flujo plástico de suelos cohesivos blandos.
- 4.5** El nivel del esfuerzo normal, de la velocidad de corte y las condiciones generales del ensayo, se deben seleccionar de manera que representen las condiciones específicas del suelo que se está investigando.
- 4.6** El área de la superficie de corte disminuye durante el desarrollo del ensayo. Esta disminución crea incertidumbre en relación con los valores reales de los esfuerzos normal y cortante sobre el plano de falla, pero no debería afectar la relación de estos esfuerzos.

## 5 EQUIPO

---

- 5.1** *Aparato de corte* – Instrumento diseñado y construido para contener de manera segura la muestra entre dos piedras porosas, de tal modo que no se aplique un momento de torsión a la muestra. El aparato de corte debe estar en condiciones de aplicar un esfuerzo normal a las caras del espécimen, medir el cambio de espesor del espécimen, permitir el drenaje del agua a través de las piedras porosas en las fronteras superior e inferior de la muestra y de sumergir la muestra en agua. El aparato debe ser capaz de aplicar una fuerza de corte al espécimen a lo largo de un plano de corte predeterminado (corte simple) paralelo a las caras de la muestra. Los marcos que contienen el espécimen deben tener la rigidez suficiente para prevenir su distorsión

durante el ensayo. Las diferentes partes del aparato de corte deben estar construidas con un material que no esté sujeto a la corrosión por humedad o por sustancias que se encuentren en el suelo; por ejemplo, pueden ser de acero inoxidable, bronce, aluminio, etc. No se permite la combinación de metales que puedan dar lugar a un efecto galvánico.

**5.2** *Caja de corte* – Circular o cuadrada, de acero inoxidable, bronce o aluminio, con dispositivos para el drenaje a través de sus partes superior e inferior. La caja debe estar dividida por un plano recto en dos mitades de igual espesor, que se ajustan con tornillos de alineación. La caja está provista de tornillos de separación que controlan el espacio entre sus mitades superior e inferior antes del corte. Las dos mitades (marcos) deben proporcionar una superficie de soporte a la muestra a lo largo del plano de corte durante el desplazamiento lateral relativo.

**5.2.1** El diámetro mínimo, en el caso de especímenes circulares, o el lado mínimo, en el caso de especímenes cuadrados, debe ser de 50 mm (2") y no menor de 10 veces el tamaño máximo de partícula, el que sea mayor de los dos.

**5.2.2** El espesor mínimo inicial de la muestra debe ser de 13 mm (0.5"), pero no menor que 6 veces el tamaño máximo de partícula.

**5.2.3** La relación mínima diámetro/espesor o lado/espesor, debe ser 2:1.

**5.3** *Piedras porosas* – Las piedras porosas permiten el drenaje de la muestra de suelo a lo largo de sus caras superior e inferior. También, tienen como función transferir los esfuerzos a dichas caras. Las piedras porosas deben ser de carburo de silicio, óxido de aluminio o un metal que no esté sujeto a la corrosión por sustancias o por la humedad del suelo. El grado adecuado de la piedra depende del suelo que se vaya a analizar. La permeabilidad de las piedras debe ser sustancialmente mayor que la del suelo, pero su textura debe ser lo suficientemente fina para prevenir una intrusión excesiva del suelo en sus poros. El diámetro o ancho de la piedra porosa o de la platina superior, debe ser entre 0.2 y 0.5 mm (0.01 y 0.02") menor que la medida interior de la caja de corte. La piedra porosa tiene como función transferir esfuerzos horizontales al suelo y debe ser lo suficientemente rugosa para desarrollar adherencia por fricción. Este efecto se puede conseguir mediante chorro de arena o maquinado de la piedra; sin embargo, su superficie no debe ser tan irregular que cause grandes concentraciones de esfuerzos en el suelo. Las piedras porosas deben ser sometidas a inspecciones periódicas para prevenir su colmatación.

*Nota 2: No se han establecido criterios exactos para definir la textura y la permeabilidad de las piedras porosas. Para un ensayo de suelo corriente, se consideran apropiadas las piedras de grado medio con una permeabilidad de, aproximadamente,  $5 \times 10^{-4}$  a  $1 \times 10^{-3}$  cm/s ( $0.5$  a  $1 \times 10^3$  pies/año) para analizar limos y arcillas; y piedras de grado grueso con una permeabilidad de  $5 \times 10^{-2}$  a  $1 \times 10^{-1}$  cm/s ( $0.5$  a  $1 \times 10^5$  pies/año) para arenas. Es importante que la permeabilidad de la piedra no se vea reducida por la acumulación de partículas de suelo en sus poros. El almacenamiento de las piedras en recipientes llenos de agua, entre uno y otro uso, disminuirá su colmatación. Son necesarios un examen y una limpieza frecuentes (por lavado, ebullición o agitación ultrasónica) para asegurar la permeabilidad necesaria de las piedras.*

#### 5.4 Mecanismos de carga:

**5.4.1 Mecanismo para aplicar y medir la fuerza normal** – La fuerza normal se puede aplicar con un marco de carga activado por pesas o mediante un mecanismo neumático de carga. El instrumento debe ser capaz de mantener la fuerza normal dentro de una variación de  $\pm 1$  % de la fuerza especificada. La aplicación de la carga debe ser rápida y sin exceder significativamente el valor establecido. Los sistemas de pesas se deben verificar con regularidad. Todos los sistemas de aplicación ajustable de la fuerza (por ejemplo, regulador neumático o motor con tornillo impulsado) requieren un dispositivo que indique la fuerza aplicada, tal como un anillo dinamométrico, una celda de carga o un sensor de presión.

**5.4.2 Mecanismo para cizallar la muestra** – El instrumento utilizado debe ser capaz de cizallar la muestra a una velocidad uniforme de desplazamiento, con una desviación menor de  $\pm 5$  %, y debe permitir el ajuste de la velocidad de desplazamiento desde 0.0025 a 1.0 mm/min (0.0001 a 0.04 pg./min), con el fin de permitir el ensayo de una amplia variedad de suelos. La velocidad que se aplique depende de las características de consolidación de los suelos (Ver numeral 8.10). Normalmente, la velocidad se mantiene con un motor eléctrico y un motorreductor, y la fuerza de corte se determina por medio de un instrumento indicador de carga, como una celda o un anillo de carga.

*Nota 3: Cizallar la muestra a una velocidad mayor que la especificada puede producir resultados de corte en condición parcialmente drenada, los cuales difieren de los obtenidos bajo drenaje completo. La muestra deberá ser cizallada con la lentitud necesaria para permitir la disipación total de la presión de poros.*

**5.4.3 Marco superior de la caja de corte** – El peso de la parte superior de la caja de corte debe ser menor de 1 % de la fuerza normal aplicada durante el corte. Esto puede requerir que la parte superior de la caja de corte sea soportada por una fuerza vertical de sentido contrario a la

gravitacional, que el equipo deba ser modificado, o que la muestra deba ser cizallada bajo una fuerza normal mayor.

- 5.5** *Instrumento de medición de la fuerza normal* – Cuando no se use nada diferente a las pesas para aplicar la fuerza normal, se requiere un anillo de carga o una celda de carga (o un sensor de presión calibrado cuando se emplee un sistema de carga neumático), con precisión de 2.5 N (0.5 lbf) o 1 % de la fuerza normal aplicada durante el corte, lo que sea mayor.
- 5.6** *Instrumento de medición de la fuerza de corte* – Un anillo de carga o celda de carga con precisión de 2.5 N (0.5 lbf) o 1 % de la fuerza de corte en condiciones de falla, lo que sea mayor.
- 5.7** *Indicadores de deformación* – Diales o transductores capaces de medir el cambio de espesor del espécimen con precisión de no menos de 0.002 mm (0.0001"), y de medir el desplazamiento lateral relativo con precisión no menor de 0.02 mm (0.001").
- 5.8** *Cubeta de la caja de corte* – Una caja metálica que soporte la caja de corte y suministre ya sea una reacción contra la que se restringe la mitad inferior de la caja de corte, o una base sólida que permita la alineación de dicha mitad. La cubeta debe permanecer libre para moverse en la dirección de la fuerza de corte aplicada en el plano horizontal. La cubeta sirve, también, como recipiente del agua utilizada para sumergir el espécimen.
- 5.9** *Cuarto de humedad controlada* – Si se requiere, para preparar las muestras de modo que sus variaciones de humedad sean minimizadas.
- 5.10** *Agua para el ensayo* – Se necesita para saturar las piedras porosas y llenar el recipiente de inmersión. Idealmente, el agua debería ser similar a la contenida en los poros de la muestra que se va a ensayar. Si no es posible obtener un agua de dichas características, resulta aceptable el uso de agua potable del grifo, de agua desmineralizada o, inclusive, de agua salina. El cliente deberá especificar el tipo de agua por emplear. Si no lo hace, el ensayo se deberá realizar empleando agua del grifo.
- 5.11** *Anillo para desbastar o cortar las muestras* – Para ajustar las muestras sobredimensionadas, con un mínimo de alteración, a las dimensiones interiores de la caja de corte. Se puede necesitar, también, una plantilla posicionadora exterior, para mantener el alineamiento de la muestra con la caja de corte.

- 5.12 *Balanzas* – Con posibilidad de lectura de 0.1 % o mejor.
- 5.13 *Equipo para la determinación del contenido de agua* – De acuerdo con lo especificado en la norma INV E–122.
- 5.14 *Equipo para compactar las muestras* – Cuando sea aplicable, se utilizará el especificado en las normas INV E–141 o INV E–142.
- 5.15 *Equipo misceláneo* – Incluye un cronómetro con segundero, espátulas, cuchillos, regla, sierras de alambre, etc.

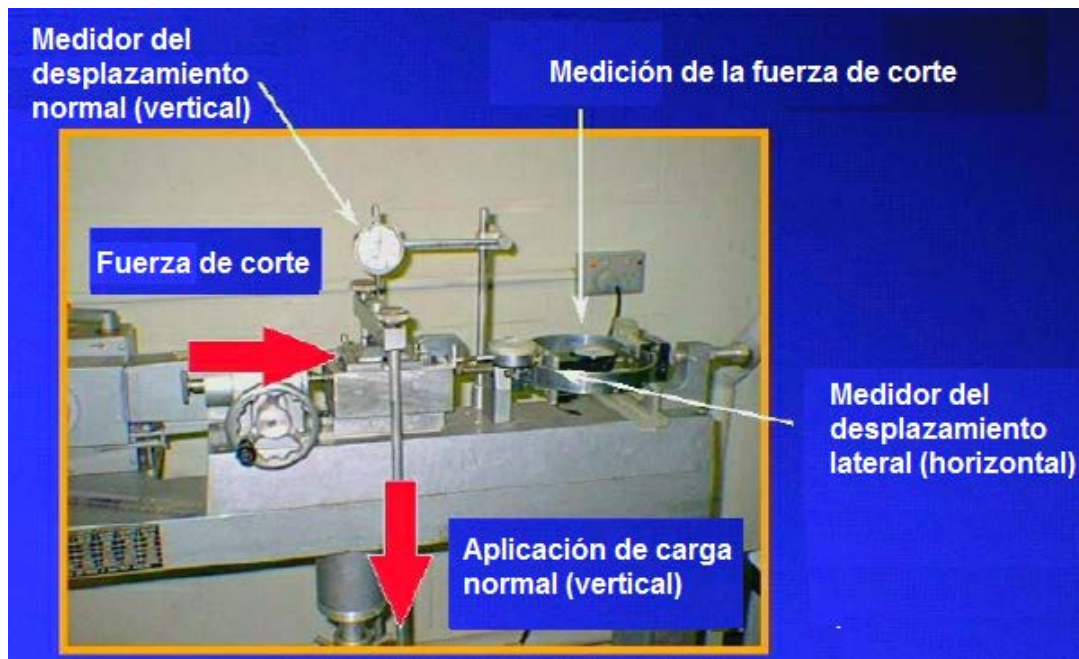


Figura 154 - 2. Montaje general del equipo de corte directo

## 6 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- 6.1 *Muestras inalteradas* – Los especímenes se deben preparar a partir de muestras grandes inalteradas o de muestras obtenidas de acuerdo con la norma INV E–105 u otros procedimientos de muestreo inalterado con tubos. Las muestras inalteradas se deben preservar y transportar como se define para las muestras de los grupos C o D en la norma INV E–103. Los especímenes se deben manejar con cuidado para minimizar la alteración, los cambios en la sección transversal o la pérdida de humedad. Si hay lugar a compresión o cualquier otro tipo de alteración notoria a causa del uso del extractor, el tubo de muestreo se deberá partir longitudinalmente o cortar en secciones

pequeñas para facilitar la remoción del espécimen con un mínimo de alteración. Siempre que sea posible, la preparación de las muestras recortadas se deberá realizar en un ambiente que minimice los cambios de humedad del espécimen.

- 6.1.1** La muestra utilizada en la preparación del espécimen debe ser suficientemente grande, de manera que se puedan preparar, por lo menos, tres especímenes similares. Aunque esta norma está escrita haciendo referencia al ensayo de un solo espécimen, todas las muestras se deberán ensayar de la misma manera.
- 6.1.2** Se debe tener mucho cuidado al preparar los especímenes inalterados de suelos sensitivos, para prevenir la alteración de la estructura natural del suelo.
- 6.1.3** Se ensamblan las dos mitades de la caja de corte y se determina la masa de ésta. Se labran los lados del espécimen para que ajuste sin holgura dentro de la caja. Una vez que el espécimen se encuentre dentro de la caja, se labran sus superficies superior e inferior para queden planas y paralelas.
- 6.1.4** Se determinan y anotan la masa inicial de la caja con el espécimen y la altura de éste, para usarlas en el cálculo de la humedad inicial y la densidad total del material.

*Nota 4: Si se encuentran partículas de suelo grandes en la muestra después del ensayo, se debe hacer un análisis granulométrico de acuerdo con la norma INV E-123 para confirmar la observación visual; los resultados de este ensayo deben ser incluidos en el informe del ensayo.*

*Nota 5: Es deseable contar con un cuarto con una humedad alta y controlada, para tener un ambiente adecuado para el corte y labrado de las muestras.*

- 6.2** *Especímenes fabricados en el laboratorio* – Los especímenes se pueden fabricar por reconstitución (Ver numeral 6.3) o por compactación (Ver numeral 6.4). Se debe disponer de material suficiente para realizar el programa completo de ensayos. El material se debe mezclar para asegurar su uniformidad y, de ser necesario, se divide en porciones apropiadas para cada contenido de agua que se requiera. Se mezcla el suelo con suficiente agua para producir la humedad deseada y se permite que el material húmedo se estabilice antes de preparar el espécimen, de acuerdo con la siguiente guía:

CLASIFICACIÓN POR EL SISTEMA UNIFICADO (NORMA INV E-181)	PERIODO MÍNIMO DE ESTABILIZACIÓN (HORAS)
SW, SP	No hay requisitos
SW-SM, SP-SM, SM	3
SC, ML, CL, SP-SC	18
MH, CH	36

**6.3** *Especímenes reconstituidos* – Se deberán preparar utilizando el método de compactación y el contenido de agua y la densidad prescritos por el cliente que solicita el ensayo. Los especímenes se pueden moldear bien sea por amasado o impacto de cada capa, hasta que la masa acumulada del suelo colocado en la caja de corte queda compactada/reconstituida a un volumen conocido, o ajustando el número de capas, los golpes por capa y la energía por golpe. La parte superior de cada capa debe ser escarificada antes de la adición del material para la siguiente. Los límites entre capas compactadas se deben ubicar de manera que no coincidan con el plano de corte definido por las mitades de la caja de corte, a menos que éste sea el objetivo establecido para un ensayo en particular. El compactador utilizado para densificar el material debe tener un área de contacto con el suelo igual o menor al 50 % del área del molde.

**6.3.1** Se aseguran las dos mitades de la caja de corte y se ensambla ésta en su soporte (Ver numeral 5.8). Se coloca una piedra porosa húmeda en el fondo de la caja de corte. Se determina la masa de suelo húmedo necesaria para formar una capa y se la coloca dentro de la caja. Se distribuye el suelo de manera uniforme y se compacta hasta alcanzar la condición deseada. Se continúan colocando y compactando capas, hasta que se logre la reconstitución completa del espécimen.

*Nota 6: El espesor requerido de la capa compactada se puede determinar midiendo directamente el espesor de la capa o las marcas dejadas en la varilla de compactación, correspondientes al espesor de la capa que se está colocando.*

**6.3.2** Se determinan y anotan la altura y la masa inicial del espécimen.

**6.3.3** Se coloca otra piedra porosa húmeda sobre la superficie del espécimen.



- 6.4** *Especímenes compactados* – Los especímenes de ensayo se pueden preparar, también, mediante los equipos y procedimientos de compactación descritos en las normas INV E–141 e INV E–142, luego de lo cual se cortan y colocan en la caja de corte, como si se tratara de muestras inalteradas. El plano de cizalladura del espécimen de corte directo no deberá estar alineado con ninguno de los planos de compactación de la muestra.

## 7 CALIBRACIÓN

---

- 7.1** La calibración es la operación mediante la cual se determina la deformación del aparato cuando se somete a la carga de consolidación, de manera que para cada carga de consolidación, la deflexión del aparato puede ser sustraída de las deformaciones observadas. En consecuencia, sólo se deberá registrar la deformación debida a la consolidación de la muestra para los ensayos completos. La calibración de las características de carga-deformación se debe llevar a cabo cuando el aparato se pone en servicio por primera vez o cuando se cambian partes del mismo. Los pasos que se describen a continuación brindan un método para la calibración del aparato. Sin embargo, se pueden emplear otros métodos que tengan una exactitud comprobada.
- 7.2** Se arma el aparato de corte directo con un disco o placa metálica de calibración, de espesor aproximadamente igual al del espécimen de ensayo típico, y con un diámetro o ancho ligeramente menor que el de la caja de corte.
- 7.3** Se ensambla el mecanismo de aplicación de la carga normal (vertical) y se aplica una carga que produzca una presión de 5 kPa (1 lbf/pg<sup>2</sup>).
- 7.4** Se coloca en posición el indicador de desplazamiento normal (vertical) y se ajusta de manera que pueda ser utilizado para medir consolidación o expansión a partir de las lecturas del disco o placa de calibración. Se registra la lectura cero o “sin carga”.
- 7.5** Se aplican incrementos de fuerza normal hasta alcanzar la capacidad del equipo, y se anotan las lecturas de los indicadores de desplazamiento normal y de fuerza normal. Se libera la carga vertical en secuencia inversa a la de aplicación y se anotan las lecturas respectivas de los indicadores de desplazamiento normal y de fuerza normal. Se promedian los valores y se dibuja un gráfico que relacione las deformaciones con los valores de la fuerza normal. Estos resultados se deben conservar para futuras referencias en la

determinación del espesor del espécimen de ensayo y en la compresión dentro del mismo aparato.

- 7.6** Si la corrección por deformación excede de 0.1 % de la altura inicial del espécimen para cualquier nivel de la carga durante el ensayo, se deberá aplicar la corrección a todas las medidas del ensayo.

## 8 PROCEDIMIENTO

---

- 8.1** Se ensamblan la caja de corte y la cubeta en el marco de carga.

- 8.1.1** *Muestra inalterada* – Se colocan las piedras porosas húmedas sobre las superficies expuestas del espécimen en la caja de corte y se coloca ésta con el espécimen inalterado y las piedras porosas en la cubeta y se alinea la cubeta en el marco de carga.

*Nota 7: La decisión de saturar las piedras porosas o de usar piedras secas, depende de las características del problema que se esté estudiando. Normalmente, las piedras porosas son saturadas cuando se analizan muestras inalteradas obtenidas por debajo del nivel freático. En el caso de suelos expansivos, la secuencia de consolidación, humedecimiento y corte, previene la expansión hasta que el espécimen es equilibrado bajo el esfuerzo normal final*

- 8.1.2** *Espécimen reconstituido* – Se coloca y alinea el ensamble constituido por la caja de corte, la muestra, las piedras porosas y la cubeta en el marco de carga.

*Nota 8: En algunos aparatos, la mitad superior de la caja de corte se mantiene en su lugar mediante una varilla con muescas que se ajusta a un agujero en la misma mitad superior de la caja de corte. La mitad inferior de la caja de corte se fija a la cubeta mediante tornillos. En algunos aparatos, la mitad superior de la caja de corte se mantiene en su lugar mediante una platina de anclaje.*

- 8.2** Se conecta y ajusta la posición del sistema de carga de corte, de modo que no transmita fuerza sobre el instrumento de medición de carga. Se pone en cero este instrumento y se anota dicho valor.
- 8.3** Se conecta y ajusta el instrumento de medición de desplazamiento horizontal. Se hace una lectura inicial o se ajusta el instrumento de medición, indicando el desplazamiento cero.
- 8.4** Se coloca la placa de transferencia de carga y de interrupción del momento sobre la piedra porosa colocada en la parte superior del espécimen.

**8.5** Se coloca el marco de carga de fuerza normal en posición, y se ajusta de modo que la barra de carga quede alineada. Si se utiliza un sistema de carga por palancas, se nivela la palanca. En los sistemas de carga neumática o accionados por motor, se ajusta el marco de carga hasta que asiente suavemente en la depresión de la placa de transferencia de carga, o se coloca una esfera metálica sobre la placa de transferencia y se ajusta el marco hasta lograr un contacto adecuado.

**8.6** Se aplica una pequeña carga normal al espécimen. Se verifica que todos los componentes del sistema de carga estén ajustados y alineados, de manera tal que no quede restringido el movimiento de la placa de transferencia de carga en la caja de corte. El espécimen no debe experimentar una consolidación significativa bajo esta carga de ajuste.

*Nota 9: La carga normal aplicada al espécimen debe ser suficiente para asegurar que todos los componentes están en contacto y alineados, pero no tan alta que le cause compresión a la muestra. Para la mayoría de las aplicaciones, resulta adecuada una carga que genere una presión de 5 kPa (1 lbf/pg<sup>2</sup>) pero, dependiendo de la finalidad del ensayo, pueden resultar aceptables otros valores.*

**8.7** Se fija y ajusta el instrumento de medición del desplazamiento vertical. Se obtiene una lectura inicial, junto con una lectura de la carga normal (tomada con un instrumento de medida o verificando las pesas colocadas).

**8.8** *Consolidación* – La carga normal para la consolidación final se puede aplicar en uno o varios incrementos, dependiendo del tipo de material, de la rigidez del espécimen y de la magnitud del esfuerzo final. Los incrementos deben ser suficientemente pequeños para prevenir la extrusión del material por los contornos de las piedras porosas. En el caso de suelos cohesivos duros o materiales granulares, se acepta que la carga se aplique en su totalidad en una sola operación. En el caso de los materiales blandos, puede resultar necesario limitar la relación de incremento de carga a una unidad, como se describe en la norma INV E-151, y aplicar varios incrementos de carga intermedios. Con base en estas consideraciones y en los requerimientos del cliente, se debe calcular y anotar la fuerza normal requerida para alcanzar cada nivel de esfuerzo normal intermedio, a medida que el espécimen progresa desde la carga de ajuste hasta el esfuerzo normal de consolidación final.

**8.8.1** Se aplica el primer incremento de carga y, si se requiere, se llena la cubeta con agua y se mantiene llena durante todo el ensayo. A falta de una especificación, la cubeta se deberá llenar con agua potable.

*Nota 10: La saturación del espécimen elimina las presiones de poros negativas causadas por tensión superficial y previene el secado por evaporación durante el ensayo.*

- 8.8.2** Para cada nivel intermedio de esfuerzo, la carga se debe aplicar tan rápido como resulte práctico. Cada nivel de carga se debe mantener hasta completar esencialmente la consolidación primaria, lo que se determina ya sea: (1) por interpretación de la relación tiempo-deformación normal (vertical); (2) por experiencia con el material, o (3) un valor por defecto a las 24 h. Se anota la deformación normal (vertical) al final de cada incremento, así como el lapso para alcanzarla.
- 8.8.3** Para el máximo y para el último nivel de esfuerzo normal, la carga se aplica con la mayor rapidez posible, e inmediatamente se comienzan a registrar las lecturas de las deformaciones normales (verticales), relacionándolas con el tiempo transcurrido. La norma INV E-151 provee detalles sobre el procedimiento de aplicación de la carga y sugerencias para llevar los registros. Para estos incrementos de carga, se debe verificar la conclusión de la consolidación primaria antes de proceder al próximo paso del ensayo, interpretando el dibujo del desplazamiento normal contra el logaritmo del tiempo o contra la raíz cuadrada del tiempo (en minutos). La norma INV E-151 suministra información en relación con la interpretación por ambos métodos.
- 8.8.4** Si la especificación del ensayo requiere la consolidación a un esfuerzo específico y luego retroceder a un nivel menor antes de proceder a la cizalladura, entonces el esfuerzo máximo se deberá mantener al menos durante un ciclo de compresión secundaria.
- 8.8.5** Si el material exhibe tendencia a la expansión bajo el esfuerzo normal máximo, el suelo se debe inundar, permitiéndole alcanzar el equilibrio (esencialmente detener la expansión) bajo este esfuerzo normal, antes de continuar con el siguiente paso del ensayo.
- 8.9** Justo antes de la cizalladura y después de que ha tenido lugar la consolidación primaria, se anota el desplazamiento normal de precorte y se remueven los tornillos de alineamiento o los pines de la caja de corte. Usando los tornillos de separación, se abre el espaciado entre las mitades de la caja de corte hasta, aproximadamente, el tamaño máximo de partícula del espécimen de ensayo o hasta 0.64 mm (0.025"), como un mínimo por defecto para suelos de grano fino. Se retiran los tornillos de separación luego de crear el espacio.

*Nota 11: En la mayoría de los equipos, los tornillos de separación elevan la mitad superior de la caja separándola de la inferior. La creación de la separación de esta manera se traduce en un incremento en el esfuerzo de tensión a lo largo de la superficie potencial de falla. Esto puede debilitar involuntariamente el material.*

**8.10** *Determinación de la velocidad de corte* – El espécimen se debe someter a corte a una velocidad relativamente reducida, para que el exceso de presión de poros sea insignificante en la falla. La determinación de la velocidad apropiada de desplazamiento requiere una estimación del tiempo requerido para la disipación de la presión de poros y del monto de la deformación requerida para alcanzar la falla. Estos dos factores dependen del tipo de material y de la historia de esfuerzos. Se pueden usar los procedimientos que se describen enseguida para calcular la velocidad de corte requerida. Los numerales 8.10.1 y 8.10.2 se pueden usar para calcular tiempos hasta la falla cuando el máximo incremento de consolidación produce curvas deformación-tiempo bien definidas y el material tiene una baja relación de pre-consolidación. El numeral 8.10.3 provee valores por defecto que se pueden usar en otras situaciones.

**8.10.1** Cuando los datos para el máximo incremento de consolidación producen una curva deformación normal-logaritmo del tiempo bien definida que se extiende dentro de la compresión secundaria, la curva se deberá interpretar como en la norma INV E-151, y el tiempo para alcanzar la falla se debe calcular con la ecuación:

$$t_f = 50 \times t_{50} \quad [154.1]$$

Donde:  $t_f$ : Tiempo total estimado para alcanzar la falla, min;

$t_{50}$ : Tiempo requerido para que el espécimen alcance el 50 % de consolidación bajo el máximo incremento de esfuerzo normal, min.

**8.10.2** Cuando los datos para el máximo incremento de consolidación no satisfacen los requerimientos del numeral 8.10.1, pero dan lugar a una curva “deformación normal-raíz cuadrada del tiempo” bien definida, la curva se deberá interpretar como en la norma INV E-151, y el tiempo hasta la falla se debe calcular con la ecuación:

$$t_f = 11.6 \times t_{90} \quad [154.2]$$

Donde:  $t_{90}$ : Tiempo requerido para que el espécimen alcance el 90 % de consolidación bajo el máximo incremento de esfuerzo normal, min.

**8.10.3** Cuando los datos para el máximo incremento de consolidación no satisfacen los requerimientos de los numerales 8.10.1 u 8.10.2, o cuando el espécimen es significativamente preconsolidado bajo el máximo esfuerzo de consolidación, se deberán computar valores por defecto del tiempo para alcanzar la falla, a partir de un coeficiente de consolidación del suelo normalmente consolidado. La siguiente tabla suministra esos valores por defecto.

CLASIFICACIÓN POR EL SISTEMA UNIFICADO (NORMA INV E-181)	TIEMPO MÍNIMO HASTA LA FALLA ( $t_f$ )
SW, SP	10 min
SW-SM, SP-SM, SM	60 min
SC, ML, CL, SP-SC	200 min
MH, CH	1440 min

*Nota 12: Los valores tabulados se basan en estimaciones de valores típicos del coeficiente de consolidación de suelos normalmente consolidados, con una trayectoria de drenaje de 1 cm. Cualquier suelo puede apartarse considerablemente de estos valores típicos. Las interpretaciones de la raíz cuadrada del tiempo pueden conducir a ratas de consolidación rápidas y erróneas de suelos parcialmente saturados o muy duros. El corte sobre especímenes sobreconsolidados ablanda el material en la zona de cizalladura, causando una reducción del coeficiente de consolidación. Consecuentemente, el cálculo de  $t_f$  a partir de las curvas deformación-tiempo puede dar lugar a una estimación incorrecta del tiempo requerido para la falla del espécimen en condición drenada. En el caso de las arcillas sobreconsolidadas que se ensayan bajo esfuerzos normales inferiores a la presión de pre-consolidación, se sugiere estimar el tiempo hasta la falla usando un valor  $t_{50}$  basado en el coeficiente de consolidación en el rango normalmente consolidado del suelo. Se debe tener cuidado, si al interpretar la curva del tiempo se obtienen tiempos considerablemente inferiores a los tabulados.*

**8.10.4** Se estima el desplazamiento lateral relativo requerido para llevar el espécimen a la falla. Este desplazamiento depende de muchos factores, incluidos el tipo de material y la historia de esfuerzos. En ausencia de experiencia específica sobre las condiciones del ensayo, se recomienda usar, como guía,  $d_f = 10$  mm (0.5") si el material es un suelo fino normalmente consolidado o ligeramente pre-consolidado; en los demás casos, se debe usar  $d_f = 5$  mm (0.2").

**8.10.5** Se determina la velocidad de desplazamiento máximo apropiada, con la ecuación:

$$R_d = \frac{d_f}{t_f} \quad [154.3]$$

Donde:  $R_d$ : Velocidad de desplazamiento, mm/min (pg./min);

$d_f$ : Desplazamiento lateral relativo estimado en la falla, mm (pg.).

**8.11 Corte drenado** – Para algunos tipos de aparatos, la velocidad de desplazamiento se logra utilizando combinaciones de piñones y posiciones de palancas. En otros tipos, la velocidad de desplazamiento se consigue ajustando la velocidad del motor. Se elige y anota una velocidad de desplazamiento que sea igual o menor a la obtenida al aplicar la ecuación del numeral 8.10.5.

**8.11.1** Se registran el tiempo inicial, el desplazamiento normal (vertical), el desplazamiento lateral relativo (horizontal) y las fuerzas normal y cortante.

**8.11.2** Se pone en funcionamiento el aparato y se inicia el proceso de corte.

**8.11.3** Se toman lecturas de los datos de tiempo, desplazamiento vertical y horizontal y la fuerza de corte a los intervalos deseados de desplazamiento o de tiempo. Las lecturas se deben tomar lo más a menudo que sea posible, para definir con exactitud una curva desplazamiento-esfuerzo cortante. Como mínimo, se deben tomar datos para desplazamientos laterales relativos de 0.1 %, 0.2 %, 0.3 %, 0.4 %, 0.5 %, 1.0 %, 1.5 %, 2.0 %, 2.5 %, 3.0 %, y luego cada 2 % adicional de desplazamiento lateral relativo, hasta el final del ensayo.

*Nota 13: Puede ser útil hacer lecturas adicionales, especialmente al inicio del ensayo, para identificar tendencias de comportamiento y el valor del esfuerzo cortante máximo de materiales sobreconsolidados o frágiles.*

**8.11.4** Puede ser necesario suspender el ensayo y separar nuevamente las mitades de la caja de corte para mantener el espacio entre ellas.

**8.11.5** El espécimen debe ser sometido a corte hasta, al menos, el 10 % de desplazamiento lateral relativo, a menos que el cliente haya establecido un criterio específico de finalización. Se detiene el dispositivo que genera la fuerza de corte.

*Nota 14: La forma de la curva desplazamiento-fuerza cortante dependerá del tipo de suelo y de la historia de esfuerzos. La curva puede tener un pico bien definido o puede crecer monotónicamente a través del ensayo. En general, es mejor continuar el ensayo hasta una deformación mayor, que terminarla con base en la variación de la fuerza de corte.*

**8.11.6** Se remueve la fuerza normal del espécimen y se desarma el aparato de carga.

- 8.12** Cuando se trate de especímenes cohesivos, se separan las mitades de la caja de corte con un movimiento deslizante a lo largo del plano de falla. No se deben separar las mitades de la caja de corte perpendicularmente a la superficie de falla, puesto que dicho movimiento puede dañar el espécimen. Se fotografía, dibuja o describe por escrito la superficie de falla. Este procedimiento no se aplica a los especímenes no cohesivos.
- 8.13** Se retira el espécimen de la caja de corte y se determina su humedad, de acuerdo con el método de la Norma INV E-122. Si aplica, se recoge el material extraído en un recipiente separado para determinar su masa.

## 9 CÁLCULOS

- 9.1** Se calcula el esfuerzo cortante nominal actuante sobre el espécimen, con la ecuación:

$$\tau = \frac{F_s}{A} \quad [154.4]$$

Donde:  $\tau$ : Esfuerzo cortante nominal, kPa (lbf/pg<sup>2</sup>) (3 dígitos significativos);

$F_s$ : Fuerza de corte, kN (lbf) (3 dígitos significativos);

$A$ : Área de la caja de corte, m<sup>2</sup> (pg<sup>2</sup>) (3 dígitos significativos).

- 9.2** Se calcula el esfuerzo normal nominal actuante sobre el espécimen, con la ecuación:

$$\sigma_n = \frac{F_n}{A} \quad [154.5]$$

Donde:  $\sigma_n$ : Esfuerzo normal nominal, kPa (lbf/pg<sup>2</sup>) (3 dígitos significativos);

$F_n$ : Fuerza normal actuante sobre el espécimen, kN (lbf) (3 dígitos significativos).

*Nota 15: A los valores calculados de esfuerzos normales o de corte, o a ambos, se les pueden aplicar factores que incorporen suposiciones en relación con el área real de la superficie del*



*espécimen sobre la que se miden las fuerzas normales y de corte. Si se hacen las correcciones, los factores y los criterios para utilizarlas se deben explicar con los resultados del ensayo.*

- 9.3** *Velocidad de desplazamiento* – Se calcula la velocidad de desplazamiento a lo largo de la superficie de corte, con la expresión:

$$R_d = \frac{d_h}{t_e} \quad [154.6]$$

- Donde:
- $R_d$ : Velocidad de desplazamiento, mm/min (pg./min) (3 dígitos significativos);
  - $d_h$ : Desplazamiento lateral relativo, mm (pg.) (3 dígitos significativos);
  - $t_e$ : Tiempo transcurrido durante el ensayo, min (3 dígitos significativos).

- 9.4** *Porcentaje de desplazamiento lateral relativo* – El porcentaje de desplazamiento lateral relativo a lo largo de la superficie de falla se calcula con la ecuación:

$$P_d = \frac{d_h}{D} \times 100 \quad [154.7]$$

- Donde:  $P_d$ : Porcentaje de desplazamiento lateral relativo, % (3 dígitos significativos);
- $D$ : Diámetro o lado del espécimen en la dirección de corte, mm (pg) (3 dígitos significativos).

- 9.5** Se calculan los valores iniciales de la relación de vacíos, el contenido de agua, la densidad seca y el grado de saturación, con base en la gravedad específica, la masa inicial y la masa final del espécimen y el volumen inicial de éste. El volumen del espécimen se determina a partir de su espesor y de las dimensiones de la caja de corte.

- 9.6** Se calculan la relación de vacíos de precorte, la densidad seca y el contenido de agua, a partir de los valores usados en el numeral 9.5, más la deformación normal.

## 10 INFORME

---

### 10.1 El informe debe incluir:

- 10.1.1 Identificación de la muestra, proyecto y localización.
- 10.1.2 Identificación y descripción del tipo de aparato utilizado en el ensayo.
- 10.1.3 Descripción de la apariencia del espécimen, con base en la Norma INV E-102, los límites de Atterberg (Normas INV E-125 e INV E-126) y los datos granulométricos (Norma INV E-123), si se obtuvieron (Ver numeral 6.2).
- 10.1.4 Descripción de la estructura del suelo; es decir, si el espécimen es inalterado, remoldeado, compactado o preparado de otra manera.
- 10.1.5 El espesor y el diámetro inicial (lado para las cajas de corte cuadradas) de la muestra.
- 10.1.6 Masa seca inicial y final.
- 10.1.7 Humedad inicial y de precorte.
- 10.1.8 Densidad húmeda inicial y de precorte (nota 16).
- 10.1.9 Densidad seca inicial y de precorte, y relación de vacíos (nota 16).
- 10.1.10 Grado de saturación inicial y de precorte (nota 16).
- 10.1.11 Tabla con el esfuerzo normal, el desplazamiento normal final y la duración de los incrementos de carga durante la consolidación.
- 10.1.12 Tabla con el esfuerzo normal nominal, el esfuerzo cortante nominal, el desplazamiento lateral relativo o el porcentaje de desplazamiento lateral relativo, el desplazamiento normal y la velocidad de deformación durante el corte.
- 10.1.13 Un gráfico de logaritmo de tiempo o de la raíz cuadrada del tiempo versus la deformación, para los incrementos de carga usados para determinar la rata de corte.

**10.1.14** Un gráfico del esfuerzo cortante nominal versus el desplazamiento lateral relativo o el porcentaje de desplazamiento lateral relativo.

**10.1.15** En el caso de materiales cohesivos, observaciones relativas a la superficie de falla.

**10.1.16** No conformidades en relación con el procedimiento normalizado; por ejemplo, secuencias especiales de carga o exigencias específicas de humedecimiento.

*Nota 16: En la mayoría de los casos, hay una significativa pérdida de suelo durante el corte y la forma de la muestra se altera de tal modo, que las relaciones de fase (densidad, humedad y grado de saturación) no se pueden calcular con precisión; razón por la cual estos valores no suelen ser de utilidad.*

## 11 PRECISIÓN Y SESGO

---

**11.1** *Precisión* – No se presentan datos sobre precisión, debido a la naturaleza tan variada de los materiales que se someten a este ensayo.

**11.2** *Sesgo* – No hay un valor aceptado de referencia para este método; en consecuencia, no se puede determinar el sesgo.

## 12 NORMAS DE REFERENCIA

---

ASTM D 3080/D3080M – 11

**Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente**

## MODULO RESILIENTE DE SUELOS Y AGREGADOS

INV E – 156 – 13

### 1 OBJETO

---

- 1.1 Este método describe procedimientos para la determinación del módulo de resiliencia de suelos de subrasante y de materiales granulares de base y de subbase. Incluye la preparación de las muestras y el ensayo bajo condiciones que simulan, razonablemente, las características físicas y los estados de esfuerzos de los materiales en pavimentos flexibles sometidos a las cargas móviles del tránsito.
- 1.2 Los métodos descritos son aplicables a muestras inalteradas de subrasantes naturales y compactadas en el terreno; así como a muestras alteradas de suelos de subrasante y de materiales granulares, preparadas para el ensayo mediante compactación en el laboratorio.
- 1.3 En este método, los niveles de esfuerzo empleados para determinar el módulo resiliente tienen en cuenta la ubicación del espécimen dentro de la estructura del pavimento. Las muestras que representan las capas de base y de subbase se someten a estados de esfuerzos diferentes a los que se aplican a un material de subrasante. Generalmente, el tamaño del espécimen de ensayo depende del tipo de material, definido por su granulometría y su plasticidad.
- 1.4 El valor del módulo resiliente determinado por este método es una medida del módulo elástico de los materiales ensayados, reconociendo ciertas características de no linealidad.
- 1.5 Los valores del módulo resiliente se pueden emplear en conjunto con modelos de análisis de respuesta estructural, tanto para valorar la respuesta de los materiales ante la acción de las cargas, como para diseñar estructuras de pavimentos.
- 1.6 Esta norma reemplaza la norma INV E–156–07.

### 2 DEFINICIONES

---

- 2.1 *Materiales granulares de base y subbase* – Incluyen mezclas de suelo-agregado y agregados naturales y triturados. Excluyen el uso de cualquier tipo de agente

ligante o estabilizante. Estos materiales se clasifican en los tipos 1 y 2, definidos en los numerales 2.3 y 2.4.

- 2.2** *Subrasante* – Suelos que son preparados y compactados antes de colocar las capas de subbase y/o base. Estos materiales se clasifican, también, en los tipos 1 y 2 definidos en los numerales 2.3 y 2.4.
- 2.3** *Material Tipo 1* – Para el propósito de las pruebas de módulo resiliente, el material Tipo 1 incluye todos los granulares sin tratar de base y subbase y todos los de subrasante sin tratar, que cumplan con los siguientes requisitos: menos de 70 % pasa el tamiz de 2.00 mm (No. 10), menos del 20 % pasa el tamiz de 75  $\mu$ m (No. 200) y el índice de plasticidad es menor o igual a 10 %. Los suelos clasificados como Tipo 1 se deberán moldear en moldes de 150 mm de diámetro.
- 2.4** *Material Tipo 2* – Para el propósito de las pruebas de módulo resiliente, el material Tipo 2 incluye todos los granulares sin tratar de base y subbase y todos los de subrasante sin tratar, que no cumplan los criterios para los materiales del Tipo 1. Las muestras de suelo no tratado tomadas con tubo de pared delgada (norma INV E-105), caen en la categoría Tipo 2.
- 2.5** *Forma de carga de medio seno verso* – Forma requerida para el pulso de carga. El pulso es de forma:  $(1 - \cos \theta) / 2$ , como se muestra en la Figura 156 - 1.
- 2.6** *Carga axial máxima aplicada ( $P_{m\acute{a}x}$ )* – Carga total aplicada a la muestra. Incluye la carga de contacto y la carga cíclica (resiliente).

$$P_{m\acute{a}x} = P_{\text{contacto}} + P_{\text{c\acute{i}clica}} \quad [156.1]$$

- 2.7** *Carga de contacto ( $P_{\text{contacto}}$ )* – Carga total aplicada a la muestra para mantener un contacto positivo entre ella y la platina cabezal.

$$P_{\text{contacto}} = 0.1 P_{m\acute{a}x} \quad [156.2]$$

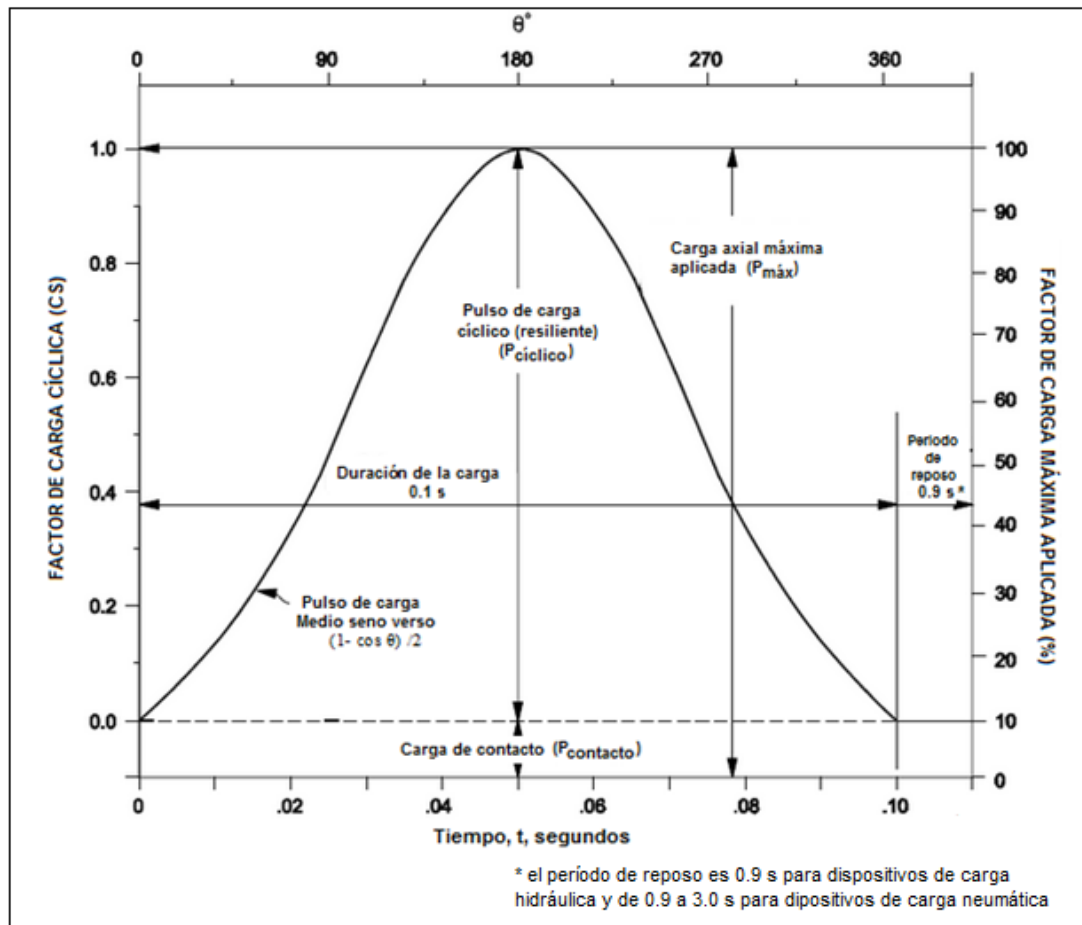


Figura 156 - 1. Definición gráfica de términos

- 2.8** *Esfuerzo axial máximo aplicado ( $S_{máx}$ )* – Esfuerzo total aplicado a la muestra, incluyendo el esfuerzo de contacto y el esfuerzo cíclico (resiliente):

$$S_{máx} = P_{máx}/A \quad [156.3]$$

Donde: A: Sección transversal inicial del espécimen.

- 2.9** *Esfuerzo axial cíclico ( $S_{cíclico}$ )* – Esfuerzo vertical cíclico (resiliente) aplicado en cada serie contemplada en la prueba.

$$S_{cíclico} = P_{cíclico}/A \quad [156.4]$$

- 2.10** *Esfuerzo de contacto ( $S_{\text{contacto}}$ )* – Esfuerzo axial aplicado a la muestra, que se mantiene durante la prueba para asegurar el contacto entre la platina cabezal y el espécimen:

$$S_{\text{contacto}} = P_{\text{contacto}}/A \quad [156.5]$$

También,

$$S_{\text{contacto}} = 0.1 S_{\text{máx}} \quad [156.6]$$

- 2.11** *Esfuerzo radial total ( $S_3$ )* – Presión de confinamiento aplicada en la cámara triaxial (esfuerzo principal intermedio y menor).
- 2.12** *Deformación axial resiliente ( $\epsilon_r$ )* – Deformación axial resiliente (recuperada) debida a  $S_{\text{cíclico}}$ .
- 2.13** *Deformación unitaria axial resiliente ( $\epsilon_r$ )* – Deformación unitaria axial resiliente (recuperada) debida a  $S_{\text{cíclico}}$ :

$$\epsilon_r = \epsilon_r / L \quad [156.7]$$

Donde: L: Longitud inicial de la muestra de ensayo.

- 2.14** *Módulo resiliente ( $M_r$ )* – Es la relación entre las amplitudes del esfuerzo axial repetido y de la deformación unitaria axial resultante:

$$M_r = S_{\text{cíclico}} / \epsilon_r \quad [156.8]$$

- 2.15** *Duración de la carga* – Intervalo de tiempo durante el cual el espécimen es sometido a un esfuerzo desviador (usualmente 0.1 s).
- 2.16** *Duración del ciclo* – Intervalo de tiempo entre aplicaciones sucesivas de un esfuerzo axial cíclico (usualmente de 0.1 a 3.1 s, dependiendo del tipo de dispositivo de carga).



### 3 RESUMEN DEL MÉTODO

---

- 3.1** Se aplica un esfuerzo axial cíclico repetido, de magnitud, duración (0.1 s) y frecuencia fijas, a un espécimen cilíndrico de ensayo, debidamente preparado y acondicionado. Durante y entre las aplicaciones del esfuerzo dinámico desviador, el espécimen está sometido a un esfuerzo estático en su contorno, proporcionado por medio de una cámara de presión triaxial. Se mide la deformación axial total resiliente (recuperable) de respuesta del espécimen y se calcula el módulo resiliente relacionando el esfuerzo axial desviador con la deformación unitaria axial resultante.

### 4 IMPORTANCIA Y USO

---

- 4.1** El ensayo de módulo resiliente proporciona una relación básica entre el esfuerzo y la deformación de los materiales bajo cargas repetidas, aplicable a los modelos de análisis estructural de los sistemas multicapas de pavimentos.
- 4.2** También, proporciona un medio de evaluación de los materiales de construcción de pavimentos, incluyendo los suelos de subrasante, bajo una gran variedad de situaciones (humedad, densidad, etc.) y de estado de esfuerzos, que simulan las condiciones de trabajo de un pavimento cuando recibe las cargas móviles del tránsito.

### 5 EQUIPO

---

- 5.1** *Cámara de compresión triaxial* – La cámara de compresión triaxial se utiliza para contener la muestra y el fluido de confinamiento durante el ensayo. En la Figura 156 - 2 se muestra una cámara con TLDV (transductores lineales diferenciales variables) exteriores, para ser utilizada en el ensayo de resiliencia de suelos. La cámara es similar a muchas celdas triaxiales normales, excepto que es algo más grande para facilitar la acción de la celda de carga que es montada internamente y del equipo de medida de deformaciones, el cual tiene salidas adicionales para las guías eléctricas de los aparatos de medición.
- 5.1.1** Se puede utilizar aire como fluido confinante en la cámara triaxial.
- 5.1.2** La cámara puede ser acrílica, de policarbonato u otro material resistente que permita observar el espécimen durante el desarrollo del ensayo.

- 5.2** *Dispositivo de aplicación de carga* – La fuente externa de carga puede ser cualquier dispositivo capaz de producir ciclos repetidos de pulsos de carga de forma de medio seno verso, de las siguientes duraciones:

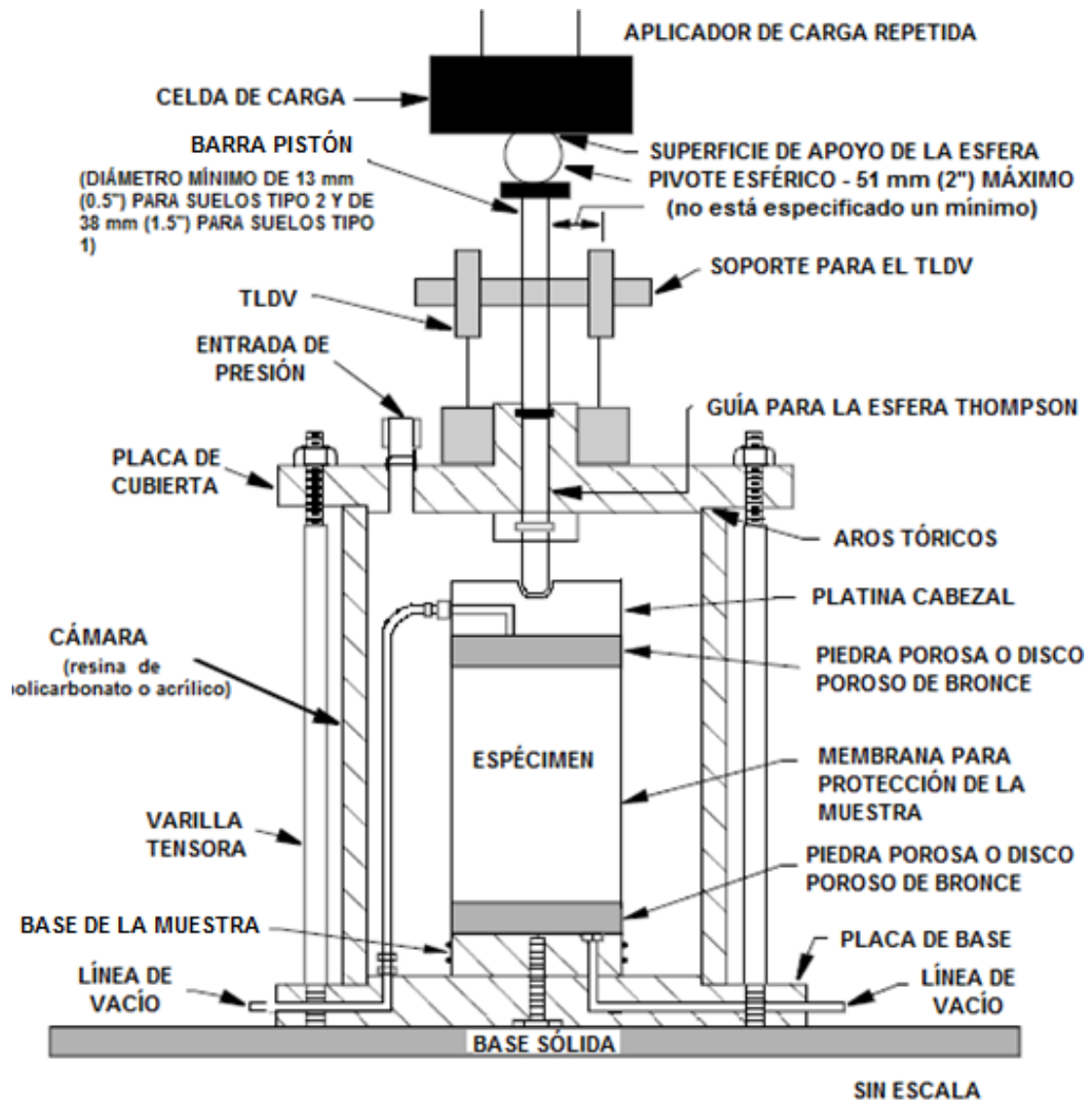
TIPO DE DISPOSITIVO DE APLICACIÓN DE CARGA	DURACIÓN DEL PULSO DE CARGA (s)	PERÍODO DE REPOSO (s)
Neumático	0.1	0.9 a 3.0
Hidráulico	0.1	0.9

- 5.2.1** El pulso de carga de forma de medio seno verso debe estar de acuerdo con la definición 2.5. Todo pre-acondicionamiento y ensayo se deben realizar empleando pulsos de carga de forma de medio seno verso. La forma de la onda de medio seno verso generada por el sistema y la forma de la onda de respuesta, se deben presentar en pantalla de modo que el operario pueda ajustar las amplificaciones, para asegurar que haya coincidencia durante el pre-acondicionamiento y el ensayo.

- 5.3** *Equipo de medida de la carga y de la respuesta del espécimen:*

- 5.3.1** El dispositivo para medir la carga axial es una celda electrónica de carga, colocada entre el aplicador de carga repetida y el vástago del pistón, como lo muestra la Figura 156 - 2. La celda de carga debe tener la siguiente capacidad:

DIÁMETRO DEL ESPÉCIMEN (mm)	CAPACIDAD MÁXIMA DE CARGA (kN)	EXACTITUD REQUERIDA (N)
71	2.2	± 4.5
100	8.0	± 10.0
152	22.24	± 22.24



NOTA 1: TLDV = Transductor Lineal Diferencial Variable

NOTA 2: Los extremos de los TLDV deben descansar sobre la celda de carga o sobre soportes unidos rígidamente a ella

Figura 156 - 2. Cámara triaxial típica con TLDV exteriores y celda de carga

*Nota 1: Los requerimientos sobre capacidad de carga y exactitud presentan una relación aproximadamente lineal, cuando se dibujan contra la sección transversal del espécimen. Los requerimientos para las celdas de carga empleadas con otros diámetros de probetas deben conservar la misma relación lineal aproximada.*

*Nota 2: Durante los períodos de ensayo, la celda de carga se debe verificar cada quincena o luego de 50 ensayos, lo que ocurra primero, empleando un anillo de calibración. Otra posibilidad consiste en insertar otra celda calibrada y hacer mediciones independientes con las dos celdas para verificar la exactitud de las cargas. Por ningún motivo se deben realizar medidas de módulo resiliente si se encuentra que el sistema está por fuera de calibración o si la celda de carga no satisface los requisitos de tolerancia establecidos por el fabricante en relación con su exactitud.*

- 5.3.2** Las presiones de la cámara de ensayo son controladas con manómetros convencionales de presión o transductores (aparatos medidores de presión) con exactitud de 0.7 kPa (0.1 lbf/pg<sup>2</sup>).
- 5.3.3** *Deformación axial* – El equipo para medir la deformación axial está constituido por dos TLDV fijados en lados opuestos de la barra pistón en el exterior de la cámara, como se muestra en el esquema de la Figura 156 - 2. Estos dos transductores deben quedar equidistantes de la barra y se deben apoyar sobre superficies fijas y duras, que sean perpendiculares a los ejes de los TLDV. Los TLDV deben ser accionados por resorte. Se requieren los siguientes rangos de TLDV:

DIÁMETRO DEL ESPÉCIMEN (mm)	RANGO (mm)
71	± 1
100	± 2.5
152	± 6

*Nota 3: Los dos TLDV deben cumplir las siguientes especificaciones: (1) linealidad, ± 0.25 % de la escala total; (2) repetibilidad, ± 1 % de la escala total; (3) sensibilidad máxima, 2 mv/v (corriente alterna) o 5 mv/v (corriente continua).*

*Nota 4: El requerimiento sobre rango presenta una relación aproximadamente lineal cuando se dibuja contra la sección transversal del espécimen. Si se usan especímenes de otros diámetros, los requerimientos para los TLDV deben mantener la misma relación lineal.*

- 5.3.3.1** Se debe mantener un contacto positivo entre las puntas de los TLDV y su superficie de apoyo durante todo el ensayo. Además, los TLDV deben estar conectados de manera que puedan ser leídos y analizados de manera independiente. Sus resultados se deben promediar para los fines de los cálculos posteriores.

*Nota 5: La desalineación o la presencia de polvo en el vástago del TLDV hacen que pierda el movimiento libre, razón por la cual el vástago se debe revisar antes de la prueba. Es necesario aplicarle, de manera regular, un producto limpiador recomendado por el fabricante.*

- 5.3.3.2** Los TLDV se deben calibrar cada quincena o luego de 50 ensayos de módulo resiliente, lo primero que ocurra, usando un micrómetro con una resolución compatible, o un juego de bloques de calibradores maquinados especialmente. Los ensayos de módulo no se deben adelantar si los TLDV no

satisfacen los requerimientos de tolerancia del fabricante en relación con su exactitud.

- 5.3.4** Es necesario mantener una señal de excitación adecuada y un campo de grabación adicionado a los dispositivos de medida para registrar, simultáneamente, las deformaciones y la carga axial. La señal debe ser clara y libre de ruido. Se deben usar cables blindados para las conexiones. Si se usa un filtro, su frecuencia debe ser tal, que no atenúe la señal. Se debe registrar un mínimo de 200 datos de cada TLDV durante un ciclo de carga.
- 5.4** *Equipo para la preparación del espécimen* – Se requiere una gran variedad de equipos para la preparación de muestras inalteradas para ensayos y para obtener especímenes compactados que sean representativos de las condiciones en el terreno. El empleo de diferentes materiales y de distintos métodos de compactación en el terreno, implica el uso de técnicas variadas de compactación en el laboratorio.
- 5.4.1** *Equipo para recortar especímenes de ensayo de muestras inalteradas de tubos de pared delgada* – Como el descrito en la norma INV E-153.
- 5.4.2** *Elementos misceláneos* – Calibrador micrométrico, regla metálica calibrada a 0.5 mm, membranas de caucho de 0.25 a 0.79 mm de espesor, aros tóricos, fuente de vacío con cámara de burbuja y regulador, membrana de expansión, piedras porosas (para suelos de subrasante), discos porosos de bronce (para materiales de subbase y base), balanzas, recipientes para determinar la humedad, horno, formatos para registro de datos, etc.

## 6 PREPARACIÓN DE ESPECÍMENES DE ENSAYO

---

- 6.1** *Tamaño del espécimen* – La longitud del espécimen no deberá ser menor de dos veces el diámetro. Se deben usar diámetros de 71 u 86 mm en especímenes inalterados de suelos cohesivos (Tipo 2). Para materiales Tipo 1 o especímenes compactados Tipo 2, el diámetro mínimo del molde debe ser igual a 5 veces el tamaño máximo de las partículas del suelo. Si la partícula mayor del suelo excede el 25 % del diámetro del molde disponible, estas partículas se deben separar.
- 6.2** *Especímenes inalterados de subrasante* – Los especímenes inalterados se recortan y preparan como se describe en la norma INV E-153. La humedad de

las muestras de los tubos de pared delgada se debe determinar de acuerdo con la norma INV E-122. El espécimen recortado del tubo de pared delgada debe tener una longitud, al menos, igual al doble de su diámetro y deberá estar libre de defectos como grietas, bordes partidos que no se puedan arreglar durante la preparación, o partículas que sean sobretamaños en relación con el conjunto de la muestra.

**6.3** *Preparación del suelo para especímenes compactados de laboratorio* – Tanto las muestras del Tipo 1 como las del Tipo 2, se deben preparar con una densidad y una humedad similares a las prevalecientes en el terreno. Deberán ser sometidas a compactación en el laboratorio todas las muestras de materiales granulares de base y subbase, así como las de subrasante de las cuales no se disponga de muestras inalteradas.

**6.3.1** *Contenido de agua* – La humedad del espécimen compactado en el laboratorio debe corresponder a la obtenida en el campo cuando se realiza alguna de las pruebas de densidad en el terreno (normas INV E-161, INV E-162 o INV E-164). Si no se dispone de datos sobre la humedad in-situ, se deberá atender lo indicado en el numeral 6.3.3. La humedad de los especímenes compactados en el laboratorio no debe variar en más de 1.0 % para materiales de Tipo 1, ni más de 0.5 % para materiales de Tipo 2, respecto de la obtenida en el terreno.

**6.3.2** *Densidad de compactación* – La densidad del espécimen compactado debe corresponder a la densidad húmeda obtenida cuando se realiza alguna de las pruebas de densidad en el terreno (normas INV E-161, INV E-162 o INV E-164). Si no se dispone de datos sobre la densidad in-situ, se deberá atender lo indicado en el numeral 6.3.3. La densidad húmeda de laboratorio no deberá diferir en más de 3 % de la obtenida en el terreno.

**6.3.3** Si no se dispone de alguno de los datos de humedad o densidad, entonces se deberá utilizar el porcentaje de la densidad seca máxima y la correspondiente humedad óptima obtenidos según las normas INV E-141 o INV E-142, según lo que establezca la especificación aplicable de la entidad para la cual se realiza el ensayo. El contenido de agua no deberá variar en más de 1.0 % para materiales de Tipo 1, ni más de 0.5 % para materiales de Tipo 2, respecto de la óptima de objetivo. Así mismo, la densidad húmeda del espécimen compactado en el laboratorio no deberá diferir en más de 3 % de la densidad húmeda objetivo.

**6.3.3.1** *Ejemplo* – Si la densidad húmeda deseada es  $1950 \text{ kg/m}^3$  y la humedad deseada es 8.0 % para un material de Tipo 1, entonces la humedad para compactar la muestra se deberá encontrar entre 7.0 y 9.0 %. Para la misma humedad deseada en un material del Tipo 2, el contenido aceptable de humedad para compactar se deberá encontrar entre 7.5 y 8.5 %. En relación con la densidad húmeda para los dos tipos, el rango aceptable es  $1892 - 2009 \text{ kg/m}^3$ .

**6.3.4** *Reconstitución de la muestra* – Los especímenes de los Tipos 1 y 2 se deben reconstituir como se indica en el Anexo A. La humedad objetivo y la densidad objetivo que se deben usar para determinar la cantidad requerida de material, son las mencionadas en el numeral 6.3. El Anexo A suministra guías para reconstituir el material, de manera de obtener una cantidad suficiente del mismo para preparar el espécimen en las condiciones deseadas de humedad y densidad. Tras completar este paso, se puede proceder a la compactación.

**6.4** *Métodos y equipos de compactación para especímenes reconstituidos:*

**6.4.1** *Compactación de especímenes de materiales Tipo 1* – El método general para compactar estos materiales se presenta en el Anexo B.

**6.4.2** *Compactación de especímenes de materiales Tipo 2* – El método general para compactar estos materiales se presenta en el Anexo C. Si se va a emplear compactación vibratoria, se empleará el método del Anexo B.

**6.4.3** Los especímenes preparados se deben proteger contra cambios de humedad, aplicándoles la membrana triaxial y ensayándolos en un plazo no mayor de cinco días. El espécimen se debe pesar antes del almacenamiento y en el momento mismo de retirarlo de éste, para verificar si se produjo alguna pérdida de humedad. Si la pérdida excede de 1 % para los materiales del Tipo 1 o de 0.5 % para los del Tipo 2, el espécimen se deberá descartar y será necesario preparar uno nuevo. Se permite la reutilización del material de los especímenes que no hayan sido sometidos a ensayo.

## 7 PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DEL MÓDULO RESILIENTE DE SUELOS DE SUBRASANTE

---

- 7.1** El procedimiento descrito en esta Sección se emplea para muestras de suelos de subrasante sin tratar, inalteradas o compactadas en el laboratorio. Pueden incluir especímenes del Tipo 1 de 150 mm de diámetro, o del Tipo 2 de 70 mm.
- 7.2** *Ensamble de la cámara triaxial* – Los especímenes recortados de muestras inalteradas y especímenes compactados en el laboratorio se colocan en la cámara triaxial y en el aparato de carga, según los siguientes pasos:
- 7.2.1** Se colocan una piedra porosa y un papel de filtro húmedo encima de la base de la muestra en la cámara triaxial, como se muestra en la Figura 156 - 2.
- 7.2.2** Se coloca cuidadosamente el espécimen sobre la piedra. Se coloca la membrana en un dilatador de membrana, se aplica vacío al dilatador, se coloca cuidadosamente la membrana sobre el espécimen, y se quitan el vacío y el dilatador de membrana, Se sella la membrana al pedestal (o a la placa de base) con un aro tórico u otro sello de presión.
- 7.2.3** Se colocan sobre la muestra un papel de filtro húmedo y la platina cabezal que tiene incorporada una piedra porosa húmeda, se dobla la membrana y se sella a la platina cabezal con un aro tórico u otro sello de presión.
- 7.2.4** Si el espécimen se ha compactado o almacenado con la membrana, y las piedras porosas y la muestra ya están ligadas a la membrana de caucho en su lugar, se omiten los pasos 7.2.1, 7.2.2 y 7.2.3. En cambio, se coloca el espécimen previamente ensamblado sobre la placa de base de la cámara triaxial.
- 7.2.5** Se conecta la línea de drenaje del fondo de la muestra a una fuente de vacío a través del punto medio de una cámara de burbujas. Se aplica un vacío de 7 kPa (1 lbf/pg<sup>2</sup>). Si hay burbujas, se buscan y corrigen los escapes. La existencia de un sello hermético asegura que la membrana permanezca en contacto firme con el espécimen. Los escapes a través de los agujeros que se forman en la membrana se pueden eliminar cubriendo la superficie de ésta con látex de caucho líquido o usando una segunda membrana.



- 7.2.6** Cuando se hayan eliminado los escapes, se desconecta el suministro de vacío y se colocan la cámara sobre la placa de base y la placa de cubierta sobre la cámara. Se inserta el pistón de carga y se obtiene una conexión firme con la celda de carga. Se ajustan firmemente los tensores de la cámara.
- 7.2.7** Se desliza el ensamble para que quede en posición bajo el dispositivo de aplicación de carga axial. La correcta colocación de la cámara es extremadamente crítica para eliminar las fuerzas laterales en la barra pistón. Se acopla el dispositivo de carga al pistón de la cámara triaxial.
- 7.3** *Ejecución del ensayo de módulo resiliente* – Se requieren las siguientes etapas para efectuar el ensayo del módulo resiliente sobre un espécimen de subrasante instalado en la cámara triaxial y colocado bajo el aparato de carga:
- 7.3.1** Se abren todas las válvulas de drenaje que conducen al espécimen, para simular condiciones drenadas. La simulación de condiciones no drenadas requiere saturación previa, procedimiento de prueba que no está contemplado en esta norma.
- 7.3.2** Si la línea de suministro de la cámara de presión no está conectada, se conecta y se aplica una presión confinante de pre-acondicionamiento (presión de la cámara) de 41.4 kPa (6 lbf/pg<sup>2</sup>) al espécimen de ensayo. En cada secuencia de carga se debe mantener el esfuerzo axial de contacto de 10 % ± 0.7 kPa respecto del máximo esfuerzo axial aplicado.
- 7.3.2.1** Las cargas aplicadas a la barra pistón de la celda se deben ajustar a los esfuerzos mostrados en la Tabla 156 - 1, después de contabilizar la carga neta ascendente o descendente resultante, calculada como se indica a continuación:

$$F = (A \times P) - W \quad [156.9]$$

- Donde: F: Fuerza resultante;
- A: Sección transversal de la barra pistón;
- P: Presión de confinamiento;

W: Masa de la barra pistón y del sistema para medir deformación montado en el exterior del espécimen.

Tabla 156 - 1. Secuencia de ensayo para suelos de subrasante

Secuencia No.	Presión de cámara $S_3$		Esfuerzo axial máximo $S_{m\acute{a}x}$		Esfuerzo cíclico $S_{c\acute{i}clico}$		Esfuerzo constante $0.1 S_{m\acute{a}x}$		Número de aplicaciones de carga
	kPa	lbf/pg <sup>2</sup>	kPa	lbf/pg <sup>2</sup>	kPa	lbf/pg <sup>2</sup>	kPa	lbf/pg <sup>2</sup>	
0	41.4	6	27.6	4	24.8	3.6	2.8	.4	500-1000
1	41.4	6	13.8	2	12.4	1.8	1.4	.2	100
2	41.4	6	27.6	4	24.8	3.6	2.8	.4	100
3	41.4	6	41.4	6	37.3	5.4	4.1	.6	100
4	41.4	6	55.2	8	49.7	7.2	5.5	.8	100
5	41.4	6	68.9	10	62.0	9.0	6.9	1.0	100
6	27.6	4	13.8	2	12.4	1.8	1.4	.2	100
7	27.6	4	27.6	4	24.8	3.6	2.8	.4	100
8	27.6	4	41.4	6	37.3	5.4	4.1	.6	100
9	27.6	4	55.2	8	49.7	7.2	5.5	.8	100
10	27.6	4	68.9	10	62.0	9.0	6.9	1.0	100
11	13.8	2	13.8	2	12.4	1.8	1.4	.2	100
12	13.8	2	27.6	4	24.8	3.6	2.8	.4	100
13	13.8	2	41.4	6	37.3	5.4	4.1	.6	100
14	13.8	2	55.2	8	49.7	7.2	5.5	.8	100
15	13.8	2	68.9	10	62.0	9.0	6.9	1.0	100

**Nota:** Las secuencias de carga 14 y 15 no se usan en materiales clasificados como Tipo 1

**7.3.3 Acondicionamiento** – Se comienza el ensayo aplicando 500 repeticiones de una carga equivalente a un esfuerzo axial máximo de 27.6 kPa (4 lbf/pg<sup>2</sup>) y un esfuerzo cíclico correspondiente de 24.8 kPa (3.6 lbf/pg<sup>2</sup>), usando un pulso de carga medio seno verso como se describe en el numeral 5.2. Si la muestra todavía está experimentando disminución de altura al final de las 500 repeticiones del período de acondicionamiento, se debe continuar el ciclo de esfuerzo hasta completar 1000 repeticiones antes de comenzar el ensayo, como lo indica la serie 0 de la Tabla 156 - 1.

**7.3.3.1** La anterior secuencia de esfuerzos constituye el acondicionamiento de la muestra; esto es, la eliminación de los efectos del intervalo entre la compactación y la carga, y la eliminación de la carga inicial contra la recarga. Este acondicionamiento de carga ayuda, también, a disminuir los

efectos de un contacto inicialmente imperfecto entre las platinas de los extremos y el espécimen de ensayo.

- 7.3.3.2** Si la deformación unitaria vertical permanente alcanza 5 % durante el período de acondicionamiento, el proceso de acondicionamiento se da por terminado. Para muestras recompactadas, se debe repasar el proceso de compactación para identificar las razones por las cuales la muestra no alcanzó una compactación apropiada. Si, como consecuencia de este repaso, no se encuentra ninguna explicación, se deberá refabricar el material y ensayarlo por segunda vez. Si alcanza de nuevo una deformación unitaria vertical permanente de 5 % durante el acondicionamiento, el ensayo se dará por finalizado y se hará la anotación correspondiente en el informe.
- 7.3.4** *Ensayo del espécimen* – El ensayo se realiza siguiendo la secuencia de carga indicada en la Tabla 156 - 1. Se comienza por disminuir el esfuerzo máximo axial a 13.8 kPa (2 lbf/pg<sup>2</sup>) (Secuencia No. 1 – Tabla 156 - 1) y se ajusta la presión de cámara a 41.4 kPa (6 lbf/ pg<sup>2</sup>).
- 7.3.5** Se aplican 100 repeticiones del esfuerzo desviador cíclico, 12.4 kPa (1.8 lbf/pg<sup>2</sup>), usando el pulso de carga de forma de seno medio verso, con las duraciones descritas en el numeral 5.2. Se registra en un formulario apropiado la deformación recuperable para los últimos cinco ciclos, separadamente para cada TLDV y el promedio de los dos TLDV (Ver Tabla 156 - 3).
- 7.3.6** Se aumenta la carga máxima axial a 27.6 kPa (4 lbf/pg<sup>2</sup>) (Secuencia No. 2) y se repite lo indicado en el paso 7.3.5 para el nuevo nivel de esfuerzo.
- 7.3.7** Se continúa el ensayo con las secuencias de carga restantes (Tabla 156 - 1), registrando la deformación vertical recuperada. Si en algún momento la deformación unitaria permanente de la muestra excede el 5 %, se debe parar la prueba y reportar el resultado en el informe.
- 7.3.8** Al terminar la prueba del ensayo del módulo resiliente, se verifica la deformación vertical permanente a la cual fue sometido el espécimen durante la porción del módulo resiliente del ensayo. Si ella no excedió de 5 % y si se desea obtener información sobre la resistencia, se continúa con el procedimiento de ensayo de corte rápido (numeral

7.3.9). Si, por el contrario, se excedió el 5 %, la prueba se da por concluida y no se realiza ningún ensayo adicional diferente del indicado en el numeral 7.3.11.

**7.3.9** *Prueba rápida de corte* – Se aplica al espécimen una presión de cámara de 27.6 kPa (4 lbf/pg<sup>2</sup>). Se aplica carga axial por el método de deformación controlada, a una velocidad de 1 % de deformación por minuto. Se continúa cargando hasta que (1) la carga decrezca con un incremento de deformación, (2) se alcance el 5 % de deformación, o (3) se alcance la capacidad de la celda de carga. Los datos internos del transductor de deformación y de la celda de carga se deben usar para registrar la deformación del espécimen y las cargas en intervalos máximos de 3 segundos.

**7.3.10** Una vez concluida la prueba de corte triaxial, se reduce la presión de confinamiento a cero y se remueve la muestra de la cámara.

**7.3.11** Se retira la membrana del espécimen y usa la totalidad de éste para determinar el contenido de agua, de acuerdo con la norma INV E-122.

**7.3.12** Se dibuja la curva esfuerzo-deformación del espécimen en la prueba triaxial de corte.

## 8 PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DEL MÓDULO RESILIENTE DE MATERIALES DE BASE Y SUBBASE

---

**8.1** El procedimiento descrito en esta Sección aplica a todos los materiales granulares de base y subbase. Incluye especímenes de materiales clasificados en los Tipos 1 y 2.

**8.2** *Ensamble de la cámara triaxial* – Cuando se completa la compactación, se colocan el disco poroso de bronce y el cabezal sobre la superficie superior del espécimen. Se debe rodar la membrana de caucho fuera del borde del molde y sobre el cabezal de la muestra. Si el cabezal de la muestra sobresale del borde del molde, la membrana se deberá sellar herméticamente contra el cabezal con un aro tórico. Si no sobresale, el sellado se puede aplicar después. Se instala el espécimen en la cámara del triaxial como se indica en los numerales 7.2.1 a 7.2.7.

**8.2.1** Se conecta la línea de suministro de presión a la cámara y se aplica una presión de confinamiento de 103.4 kPa (15 lbf/pg<sup>2</sup>).

**8.2.2** Se suspende el suministro del vacío de la entrada de saturación de vacío y se abren las válvulas de drenaje a la presión atmosférica.

**8.3** *Ejecución del ensayo de módulo resiliente* – Después de que se haya preparado el espécimen de ensayo y que se haya colocado en el dispositivo de carga como se describe en el numeral 7.2.1, se necesitan los siguientes pasos para efectuar el ensayo de módulo resiliente:

**8.3.1** Si todavía no se ha hecho, se ajusta la posición del dispositivo de carga axial o el soporte de la base de la cámara triaxial en cuanto sea necesario, para acoplar el pistón del dispositivo de generación de carga y el pistón de la cámara triaxial. El pistón de la cámara triaxial deberá quedar firmemente apoyado sobre la celda de carga. En cada secuencia de carga se debe mantener un esfuerzo axial de contacto que sea  $10\% \pm 0.7$  kPa del esfuerzo axial máximo aplicado.

**8.3.1.1** Las cargas aplicadas con la barra pistón de la celda superior se deben ajustar a los esfuerzos mostrados en la Tabla 156 - 2, después de contabilizar la carga neta ascendente o descendente resultante, calculada como se indica a continuación:

$$F = (A \times P) - W \quad [156.10]$$

Donde:

- F: Fuerza resultante;
- A: Sección transversal de la barra pistón;
- P: Presión de confinamiento;
- W: Masa de la barra pistón y del sistema para medir deformación montado en el exterior del espécimen.

**8.3.2** Se ajustan los dispositivos de registro de datos para los TLDV y la celda de carga, si se requiere.

**8.3.3** *Acondicionamiento* - Se coloca una presión de confinamiento de 103.4 kPa (15 lbf/pg<sup>2</sup>) y se aplica un mínimo de 500 repeticiones de una carga equivalente al máximo esfuerzo axial de 103.4 kPa y el correspondiente al esfuerzo cíclico de 93.1 kPa (13.5 lbf/pg<sup>2</sup>), de acuerdo con la

secuencia 0 de la Tabla 156 - 2, usando un pulso de carga medio seno verso, como se describe en el numeral 5.2. Si la muestra todavía está experimentando disminución de longitud al final de las 500 repeticiones, se deberá continuar hasta completar 1000, como lo indica la secuencia 0 de la Tabla 156 - 2, antes comenzar el ensayo.

**8.3.3.1** La anterior secuencia de esfuerzos constituye el acondicionamiento de la muestra, esto es, la eliminación de los efectos del intervalo entre la compactación y la carga, y la eliminación de la carga inicial contra la recarga. Este acondicionamiento de carga ayuda, también, a disminuir los efectos de un contacto inicialmente imperfecto entre las platinas de los extremos y el espécimen de ensayo. Las válvulas de drenaje se deben abrir a la presión atmosférica durante la prueba de módulo resiliente. Esto simulará las condiciones de drenaje. La simulación de la condición no drenada requiere saturación previa. Tal procedimiento no está contenido en este método.

Tabla 156 - 2. Secuencia de ensayo para materiales de base/subbase

Secuencia No.	Presión de cámara $S_3$		Esfuerzo axial máximo $S_{m\acute{a}x}$		Esfuerzo cíclico $S_{c\acute{i}clico}$		Esfuerzo constante $0.1 S_{m\acute{a}x}$		Número de aplicaciones de carga
	kPa	lbf/pg <sup>2</sup>	kPa	lbf/pg <sup>2</sup>	kPa	lbf/pg <sup>2</sup>	kPa	lbf/pg <sup>2</sup>	
0	103.4	15	103.4	15	93.1	13.5	10.3	1.5	500-1000
1	20.7	3	20.7	3	18.6	2.7	2.1	.3	100
2	20.7	3	41.4	6	37.3	5.4	4.1	.6	100
3	20.7	3	62.1	9	55.9	8.1	6.2	.9	100
4	34.5	5	34.5	5	31.0	4.5	3.5	.5	100
5	34.5	5	68.9	10	62.0	9.0	6.9	1.0	100
6	34.5	5	103.4	15	93.1	13.5	10.3	1.5	100
7	68.9	10	68.9	10	62.0	9.0	6.9	1.0	100
8	68.9	10	137.9	20	124.1	18.0	13.8	2.0	100
9	68.9	10	206.8	30	186.1	27.0	20.7	3.0	100
10	103.4	15	68.9	10	62.0	9.0	6.9	1.0	100
11	103.4	15	103.4	15	93.1	13.5	10.3	1.5	100
12	103.4	15	206.8	30	186.1	27.0	20.7	3.0	100
13	137.9	20	103.4	15	93.1	13.5	10.3	1.5	100
14	137.9	20	137.9	20	124.1	18.0	13.8	2.0	100
15	137.9	20	275.8	40	248.2	36.0	27.6	4.0	100

**8.3.3.2** Si la deformación permanente total alcanza 5 % durante el acondicionamiento, el proceso de acondicionamiento se debe

terminar. Se debe repasar el proceso de compactación para identificar las razones por las cuales la muestra no alcanzó una compactación apropiada. Si, como consecuencia de este repaso, no se encuentra ninguna explicación, se deberá refabricar el material y ensayarlo por segunda vez. Si alcanza de nuevo una deformación unitaria vertical permanente de 5 % durante el acondicionamiento, el ensayo se dará por finalizado y se hará la anotación correspondiente en el informe.

- 8.3.4** *Prueba del espécimen* – La prueba se ejecuta siguiendo la secuencia de carga de la Tabla 156 - 2, usando un pulso de carga de forma de medio seno verso, como se describió anteriormente. Se reduce el esfuerzo axial máximo a 20.7 kPa (3 lbf/pg<sup>2</sup>) y se ajusta la presión de cámara a 20.7 kPa (3 lbf/pg<sup>2</sup>), (Secuencia No. 1, Tabla 156 - 2).
- 8.3.5** Se aplican 100 repeticiones del esfuerzo cíclico correspondiente, usando el pulso de carga descrito en el numeral 5.2. Se debe registrar en el formato correspondiente, la deformación recuperable de los últimos cinco ciclos para cada LVDT y la deformación promedio para los dos LVDT (Ver Tabla 156 - 3).
- 8.3.6** Se continúa con la secuencia No. 2, incrementando el esfuerzo axial máximo a 41.4 kPa (6 lbf/pg<sup>2</sup>) y se repite el paso 8.3.5 para este nuevo nivel de esfuerzo.
- 8.3.7** Se continúa la prueba con las restantes secuencias de la Tabla 156 - 2 (secuencias 3 a 15), registrando la deformación vertical recuperada. Si para algún tiempo de carga, la deformación unitaria permanente total excede el 5 %, se debe parar la prueba y hacer la anotación correspondiente.
- 8.3.8** Al terminar la prueba del ensayo del módulo resiliente, se verifica la deformación vertical permanente a la cual fue sometido el espécimen durante la porción del módulo resiliente del ensayo. Si ella no excedió de 5 % y si se desea obtener información sobre la resistencia, se continúa con el procedimiento de ensayo de corte rápido (numeral 8.3.9). Si, por el contrario, se excedió el 5 %, la prueba se da por concluida y no se realiza ningún ensayo adicional diferente del indicado en el numeral 8.3.11.

**8.3.9 Prueba de rápida de corte** – Se aplica una presión de cámara de 34.5 kPa (5 lbf/pg<sup>2</sup>) al espécimen. Se aplica carga axial por el método de deformación controlada, a una velocidad de 1% de deformación por minuto. Se continúa cargando hasta que (1) la carga decrezca con un incremento de deformación, (2) se alcance el 5 % de deformación, o (3) se alcance la capacidad de la celda de carga. Los datos internos del transductor de deformación y de la celda de carga se deben usar para registrar la deformación del espécimen y las cargas en intervalos máximos de 3 segundos.

**8.3.10** Una vez concluida la prueba de corte triaxial, se reduce la presión de confinamiento a cero y se remueve la muestra de la cámara.

**8.3.11** Se retira la membrana del espécimen y usa la totalidad de éste para determinar el contenido de agua de acuerdo con la norma INV E-122.

**8.3.12** Se dibuja la curva esfuerzo-deformación del espécimen en la prueba triaxial de corte.

## 9 CÁLCULOS

**9.1** Los cálculos se efectúan empleando una disposición tabular a partir de un formato apropiado (Ver Tabla 156 - 3). Se debe calcular el valor del módulo resiliente para cada uno de los cinco últimos ciclos de cada secuencia de carga. Estos valores se promedian después en una hoja de cálculos.

Tabla 156 - 3. Reporte para la prueba de módulo resiliente en suelos de subrasante y materiales no tratados de base/subbase

COLUMNA No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
PARÁMETRO	Presión de cámara	Esfuerzo axial máximo nominal	Ciclo No.	Carga máxima axial real	Carga cíclica aplicada real	Carga de contacto aplicada real	Esfuerzo máx. axial aplicado real	Esfuerzo cíclico aplicado real	Esfuerzo contacto aplicado real	Deformación resiliente Lectura TLDV No. 1	Deformación resiliente Lectura TLDV No. 2	Deformación resiliente promedio	Deformación resiliente unitaria	Módulo resiliente
DESIGNACIÓN	S <sub>3</sub>	S <sub>máx</sub>	C <sub>i</sub>	P <sub>máx</sub>	P <sub>cíclico</sub>	P <sub>contacto</sub>	S <sub>máx</sub>	S <sub>cíclico</sub>	S <sub>contacto</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>prom.</sub>	ε <sub>r</sub>	M <sub>r</sub>
UNIDAD	kPa	kPa	---	N	N	N	kPa	kPa	kPa	mm	mm	mm	mm/mm	MPa
PRECISIÓN	-----	-----	-	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
ÚLTIMOS CINCO CICLOS	41.4	13.8	1	57.5	51.8	5.7	13.8	12.4	1.4	.01118	.01120	.01119	.000079	157.0
			2	57.0	51.3	5.7	13.7	12.3	1.4	.01120	.01123	.01122	.000079	155.4
			3	58.0	52.2	5.8	13.9	12.5	1.4	.01118	.01122	.01120	.000079	158.1
			4	57.5	51.8	5.7	13.8	12.4	1.4	.01116	.01119	.01118	.000079	157.2
			5	57.7	51.9	5.8	13.8	12.4	1.4	.01119	.01119	.01119	.000079	157.0
	PROMEDIO			57.5	51.8	5.7	13.8	12.4	1.4	.01118	.01121	.01119	.000079	157.0
	DESV. ESTÁNDAR			0.4	0.3	0.1	0.1	0.1	0.0	.00001	.00002	.00001	.000000	1.0



## 10 INFORME

---

**10.1** En todos los informes debe aparecer la identificación del espécimen, el tipo de material (Tipo 1 o Tipo 2) y fecha de ensayo. El informe debe incluir, además, los formularios cuyos modelos se muestran en las Tablas 156 - 3, 156 - 4 y 156 - 5.

**10.1.1** El formulario para el cálculo del módulo resiliente (Tabla 156 - 3) se diligencia de la siguiente manera:

**10.1.1.1** *Columna 1* – Se anota la presión de cámara para la secuencia de ensayo. Solo se requiere anotar la información correspondiente a los últimos cinco ciclos. El valor debe corresponder, exactamente, a uno de los niveles de presión de cámara mostrados en la Tabla 156 - 1 (subrasantes) o en la Tabla 156 - 2 (base/subbase).

**10.1.1.2** *Columna 2* – Se anota el esfuerzo cíclico axial nominal para la secuencia de ensayo. Solo se requiere anotar la información correspondiente a los últimos cinco ciclos. El valor debe corresponder, exactamente, a uno de los esfuerzos cíclicos axiales nominales mostrados en la Tabla 156 - 1 (subrasantes) o en la Tabla 156 - 2 (base/subbase).

**10.1.1.3** *Columnas 4 a 9* – Se anotan las magnitudes de las cargas y de los esfuerzos reales aplicados durante cada uno de los últimos cinco ciclos de carga.

**10.1.1.4** *Columnas 10 a 12* – Se anota la deformación axial resiliente de la muestra para cada TLDV durante los últimos cinco ciclos (columnas 10 y 11). El promedio de los valores de respuesta se anota en la columna 12. Este valor se usa para calcular la deformación unitaria axial del material.

**10.1.1.5** *Columna 13* – Se anota la deformación unitaria axial para cada uno de los últimos cinco ciclos. Este valor se calcula dividiendo cada valor de la columna 12 por la longitud original del espécimen,  $L_0$ , dato que deberá aparecer en la Tabla 156 - 4 (especímenes recompactados) o en la Tabla 156 - 5 (especímenes de tubo de pared delgada).

**10.1.1.6 Columna 14** – Se calcula el módulo resiliente para cada uno de los últimos cinco ciclos, dividiendo cada valor de la columna 8 por el correspondiente de la columna 13.

**10.1.1.7 Promedio** – Se saca el promedio de los datos de cada columna durante los últimos cinco ciclos.

**10.1.1.8 Desviación estándar** – Se calcula la desviación estándar de los valores de cada columna durante los últimos cinco ciclos, con la ecuación:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad [156.11]$$

**10.1.2** Los formularios con la información básica relacionada con los especímenes recompactados y los provenientes de tubos de pared delgada (Tablas 156 - 4 y 156 - 5, respectivamente), se deben llenar con la información solicitada en ellos y la adicional que se considere necesaria.

## 11 NORMAS DE REFERENCIA

---

AASHTO T 307 – 99 (2007)

Tabla 156 - 4. Información sobre muestras recompactadas

- 1 FECHA DE MUESTREO**
  - 2 NÚMERO DE MUESTRA**
  - 3 TIPO DE MATERIAL (tipo 1 o Tipo 2):**
  - 4 INFORMACIÓN SOBRE EL ENSAYO**  
 PRE-ACONDICIONAMIENTO – MÁS DE 5 % DE DEFORMACIÓN PERMANENTE (SÍ O NO):  
 ENSAYO - MÁS DE 5 % DE DEFORMACIÓN PERMANENTE (SÍ O NO):  
 ENSAYO – NÚMERO DE SECUENCIAS DE CARGA COMPLETADAS (0 – 15):
  - 5 INFORMACIÓN SOBRE LA MUESTRA**  
 DIÁMETRO, mm  
 PARTE SUPERIOR:  
 PARTE MEDIA:  
 PARTE SUPERIOR:  
 PROMEDIO:  
 ESPESOR DE MEMBRANA (1), mm:  
 ESPESOR DE MEMBRANA (2), mm:  
 DIÁMETRO NETO, mm:  
 ALTURA DE LA MUESTRA CON TAPA Y BASE, mm:  
 ALTURA DE TAPA Y BASE, mm:  
 LONGITUD INICIAL  $L_0$ , mm:  
 ÁREA INICIAL  $A_0$ , mm<sup>2</sup>:  
 VOLUMEN INICIAL  $A_0 L_0$ , mm<sup>3</sup>:
  - 6 MASA DE LA MUESTRA**  
 MASA INICIAL DEL RECIPIENTE MÁS EL SUELO HÚMEDO, g:  
 MASA FINAL DEL RECIPIENTE MÁS EL SUELO HÚMEDO, g:  
 MASA DEL SUELO USADO, g:
  - 7 PROPIEDADES DEL SUELO**  
 HUMEDAD IN-SITU, % (INDICAR MÉTODO DE MEDIDA):  
 DENSIDAD HÚMEDA IN-SITU, kg/m<sup>3</sup> (INDICAR MÉTODO DE MEDIDA):  
 o  
 HUMEDAD ÓPTIMA, %:  
 DENSIDAD SECA MÁXIMA, kg/m<sup>3</sup> (INDICAR MÉTODO DE MEDIDA):  
 95 % DENSIDAD SECA MÁXIMA, kg/m<sup>3</sup>:
  - 8 PROPIEDADES DE LA MUESTRA**  
 HUMEDAD DE COMPACTACIÓN, %:  
 DENSIDAD DE COMPACTACIÓN, kg/m<sup>3</sup>:
  - 9 ENSAYO DE CORTE RÁPIDO**  
 SE ADJUNTA GRÁFICA ESFUERZO – DEFORMACIÓN (SÍ O NO):  
 RESISTENCIA MÁXIMA AL CORTE, kPa:  
 LA MUESTRA ALCANZÓ LA FALLA DURANTE LA PRUEBA (SÍ O NO):
  - 10 FECHA DE ENSAYO** \_\_\_\_\_
- OBSERVACIONES** \_\_\_\_\_
- 
- OPERARIO:** \_\_\_\_\_
- FECHA:** \_\_\_\_\_

Tabla 156 - 5. Información sobre muestras de tubo de pared delgada

**1 FECHA DE MUESTREO****2 NÚMERO DE MUESTRA****3 TIPO DE MATERIAL (tipo 1 o Tipo 2):****4 DISTANCIA APROXIMADA DE LA SUBRASANTE AL PUNTO DE MUESTREO, m:****5 INFORMACIÓN SOBRE EL ENSAYO**

PRE-ACONDICIONAMIENTO – MÁS DE 5 % DE DEFORMACIÓN PERMANENTE (SÍ O NO):

ENSAYO - MÁS DE 5 % DE DEFORMACIÓN PERMANENTE (SÍ O NO):

ENSAYO – NÚMERO DE SECUENCIAS DE CARGA COMPLETADAS (0 – 15):

**6 INFORMACIÓN SOBRE LA MUESTRA**

DIÁMETRO, mm

PARTE SUPERIOR:

PARTE MEDIA:

PARTE SUPERIOR:

PROMEDIO:

ESPESOR DE MEMBRANA (1), mm:

ESPESOR DE MEMBRANA (2), mm:

DIÁMETRO NETO, mm:

ALTURA DE LA MUESTRA CON TAPA Y BASE, mm:

ALTURA DE TAPA Y BASE, mm:

LONGITUD INICIAL  $L_0$ , mm:ÁREA INICIAL  $A_0$ , mm<sup>2</sup>:VOLUMEN INICIAL  $A_0 L_0$ , mm<sup>3</sup>:

MASA INICIAL, g:

**7 PROPIEDADES DEL SUELO**

HUMEDAD IN-SITU, % (INDICAR MÉTODO DE MEDIDA):

HUMEDAD DESPUÉS DEL ENSAYO DE MÓDULO RESILIENTE, %:

DENSIDAD HÚMEDA, kg/m<sup>3</sup>DENSIDAD SECA, kg/ m<sup>3</sup>**8 ENSAYO DE CORTE RÁPIDO**

SE ADJUNTA GRÁFICA ESFUERZO – DEFORMACIÓN (SÍ O NO):

RESISTENCIA MÁXIMA AL CORTE, kPa:

LA MUESTRA ALCANZÓ LA FALLA DURANTE LA PRUEBA (SÍ O NO):

**9 FECHA DE ENSAYO \_\_\_\_\_**

OBSERVACIONES \_\_\_\_\_

OPERARIO: \_\_\_\_\_

FECHA: \_\_\_\_\_

## ANEXO A (Aplicación obligatoria)

### PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

---

**A.1** Este anexo brinda guías para reconstituir el material a ser ensayado, de manera de producir un volumen suficiente para preparar el tipo de muestra apropiado (Tipo 1 o Tipo 2), con la densidad y la humedad deseadas.

**A.1.1** *Acondicionamiento de la muestra* – Si la muestra de suelo está muy húmeda cuando se recibe del terreno, se secará hasta que se pueda disgregar con un palustre. El secado puede ser al aire o mediante el empleo de un aparato para secar, de tal forma que la temperatura no exceda de 60° C (140° F). La disgregación se hará evitando la reducción del tamaño natural de las partículas individuales. Para desmenuzar terrones arcillosos, se ha encontrado apropiado el empleo de algún elemento forrado en caucho para ejercer una presión moderada sobre las partículas retenidas en el tamiz de 4.75 mm (No. 4).

**A.1.2** *Preparación de la muestra* - Se determina la humedad de la muestra,  $w_1$ , mediante la norma INV E-122. La masa de la muestra para hallar humedad no deberá ser menor de 200 g para suelos con un tamaño máximo de partículas menor o igual a 4.75 mm (No. 4), ni de 500 g para suelos con tamaño máximo de partículas mayor que 4.75 mm (No. 4).

**A.1.2.1** Se determina el volumen,  $V$ , del espécimen compactado que se va a preparar. La altura del espécimen compactado deberá ser ligeramente mayor que la requerida para el ensayo de resiliencia, para permitir el recorte de sus extremos, si es necesario. La compactación de especímenes con relación altura/diámetro entre 2.1 y 2.2 resulta adecuada para este propósito.

**A.1.2.2** Se determina la masa de los sólidos del suelo secado al horno,  $W_s$ , requerida para obtener la masa unitaria seca ( $\rho_d$ ) deseada, así:

$$W_s \text{ (lb)} = \rho_d \text{ (lb/pie}^3) \times V \text{ (pie}^3) \quad [156.12]$$

$$W_s \text{ (g)} = W_s \text{ (lb)} \times 454 \quad [156.13]$$

**A.1.2.3** Se determina la masa del suelo secado al aire,  $W_{ad}$ , con humedad  $w_1$ , requerida para obtener  $W_s$ . Se deberá dejar una cantidad adicional,  $W_{as}$ , de, por lo menos 500 g, para proporcionar material para la determinación de la humedad en el momento de compactación:

$$W_{ad} \text{ (g)} = (W_s + W_{as}) \times (1 + w_1/100) \quad [156.14]$$

**A.1.2.4** Se determina la masa del agua,  $W_{aw}$ , requerida para aumentar la humedad existente,  $w_1$ , hasta la humedad deseada para la compactación,  $w$  (Ver numeral 6.3.3):

$$W_{aw} = (W_s + W_{as}) \left[ \frac{(w - w_1)}{100} \right] \quad [156.15]$$

**A.1.2.5** Se coloca el suelo con masa  $W_{ad}$ , determinada anteriormente, dentro de una bandeja para mezclar.

**A.1.2.6** Se agrega al suelo en pequeñas dosis la masa de agua  $W_{aw}$ , y se mezcla completamente después de cada adición. Con este aporte de agua, la humedad del suelo pasa de  $w_1$  a  $w$ .

**A.1.2.7** Se coloca la mezcla en una bolsa plástica. Se sella la bolsa, se coloca ésta dentro de una segunda bolsa que también se sella. Se mantiene la muestra en estas condiciones entre 16 y 48 horas. Después del almacenamiento, se pesan el suelo húmedo y el recipiente, con aproximación al gramo más próximo, y se anota este valor en los formatos apropiados.

**A.1.2.8** El material está ahora listo para la compactación.

## ANEXO B (Aplicación obligatoria)

### COMPACTACIÓN DE SUELOS DE LOS TIPOS 1 Y 2 POR VIBRACIÓN

---

#### B.1 Objeto:

**B.1.1** Los suelos se pueden recompactar usando un molde partido y un vibrador. Se debe escoger un molde cuyo diámetro sea, como mínimo, cinco veces el tamaño máximo de las partículas del suelo a ensayar. Si el tamaño máximo de partícula excede el 25 % del diámetro del molde disponible de mayor tamaño, las partículas que no cumplan la relación deberán ser trituradas. La longitud de todos los especímenes deberá ser igual al doble de su diámetro.

**B.1.2** Los especímenes se deben compactar en seis capas en un molde partido, sobre la base del equipo triaxial mostrado en la Figura 156B - 1. Las fuerzas de compactación serán producidas por un martillo de impacto vibratorio con acción amasante, alimentado por aire o electricidad, y de tamaño suficiente para proporcionar a la muestra la densidad requerida sin deteriorar la membrana que la protege.

#### B.2 Equipo:

**B.2.1** *Un molde partido* – Con diámetro interior de 152.4 mm y una altura mínima de 381 mm (o una altura suficiente para permitir la conducción de la cabeza de compactación en la última capa).

**B.2.2** *Dispositivo de compactación vibratoria* – Martillo eléctrico giratorio o de demolición con una entrada nominal de 250 a 1200 vatios, capaz de aplicar 1800 a 3000 impactos por minuto. La cabeza de compactación debe tener un espesor mínimo de 13 mm y un diámetro no menor de 146 mm.

#### B.3 Procedimiento:

**B.3.1** Para el caso de platinas removibles, se ajusta la de fondo en su lugar en la base de la celda triaxial. Es esencial que se obtenga un sello hermético y que la interfaz de la platina de fondo constituya un cuerpo rígido, ya que los cálculos de deformación asumen que ella no tendrá ningún movimiento bajo carga.

- B.3.2** Se colocan las dos piedras porosas más la tapa, sobre la platina de fondo. Se determinan la altura total de la platina inferior, la tapa, y las piedras con aproximación a 0.25 mm.
- B.3.3** Se remueven la tapa de la muestra y la piedra porosa de bronce si ésta se usó. Se mide el espesor de la membrana de caucho con un medidor micrométrico

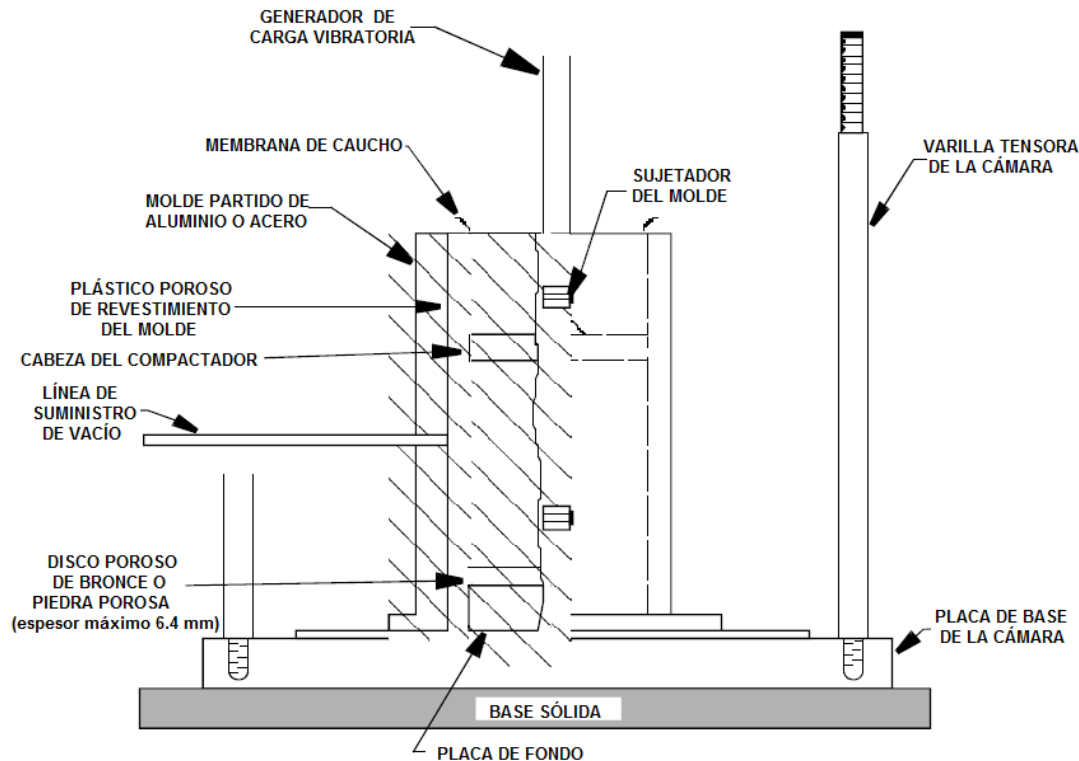


Figura 156B - 1. Aparato para compactación vibratoria de suelos no cohesivos

- B.3.4** Se coloca la membrana de caucho sobre la platina de fondo y la piedra porosa inferior. Se fija la membrana a la platina de fondo empleando un aro tórico u otro sello hermético.
- B.3.5** Se coloca el molde partido alrededor de la placa de fondo y se sube la membrana por dentro del molde. Se aprieta firmemente el molde partido en su sitio. Se debe tener cuidado para evitar pinchazos en la membrana.
- B.3.6** Se estira la membrana apretadamente sobre el borde del molde. Se aplica un vacío al molde para remover todas las arrugas de la membrana. El empleo de plástico poroso que forme un forro tubular



asegura que la membrana se ajuste exactamente alrededor del perímetro interior del molde. El vacío se debe mantener durante el proceso de compactación.

- B.3.7** Se usan calibradores para determinar, con aproximación a 0.25 mm, el diámetro interior del molde forrado con la membrana y la distancia desde la parte superior de la piedra porosa hasta el borde del molde.
- B.3.8** Se determina el volumen,  $V$ , del espécimen que se va a preparar, empleando el diámetro medido en el paso B.3.7 y un valor de altura entre 305 y 318 mm.
- B.3.9** Se determina la masa del material con la humedad preparada, que se debe compactar dentro del volumen  $V$  determinado en el paso B.3.8, para obtener la masa unitaria deseada.
- B.3.10** Para especímenes de 152.4 mm de diámetro y una altura de 305 mm, se requiere compactar el material en seis capas de 50 mm cada una. Se determina la masa del suelo húmedo requerido para cada capa,  $W_L$ :

$$W_L = \frac{W_t}{N} \quad [156.16]$$

Donde:  $W_t$ : Masa total para producir un espécimen con una determinada densidad;

$N$ : Número de capas en que se va a compactar el suelo en el molde.

- B.3.11** Se coloca la masa total requerida de suelo para todas las capas,  $W_{ad}$ , dentro de una bandeja para mezcla. Se agrega la cantidad de agua necesaria,  $W_{aw}$ , y se mezcla perfectamente.
- B.3.12** Se determina la masa del suelo húmedo más la de la bandeja de mezclado.
- B.3.13** Se coloca dentro del molde la cantidad requerida de suelo húmedo para una capa,  $W_L$ . Se debe tener cuidado para evitar pérdidas. Se usa una espátula para quitar el material del borde del molde y se forma un pequeño montículo en el centro del mismo.

- B.3.14** Se inserta la cabeza del vibrador y se vibra el suelo hasta que la distancia entre la superficie compactada y el borde del molde sea igual a la distancia medida en el paso B.3.7, menos el espesor de la capa escogida en el paso B.3.10. Esto puede requerir la extracción e introducción de la cabeza del vibrador varias veces hasta que, por experiencia, se obtenga la medida del tiempo de vibración requerido.
- B.3.15** Se repiten los pasos B.3.13 y B.3.14 para cada nueva capa, escarificando antes la capa previamente compactada, en un espesor aproximado de 6.4 mm. La distancia medida desde la superficie de la capa compactada hasta el borde del molde, se va viendo reducida sucesivamente por el espesor de cada nueva capa elegido en el paso B.3.10. La superficie final deberá ser un plano pulido y horizontal. Como un paso final recomendado cuando se han usado discos porosos de bronce, se coloca la tapa sobre la muestra y se asienta con la cabeza del vibrador. De ser necesario, porque la primera membrana se haya degradado, se deberá colocar una segunda membrana al término del proceso de compactación.
- B.3.16** Cuando se haya completado la compactación, se determina la masa de la bandeja de mezcla más el suelo sobrante de la compactación. La masa determinada en el paso B.3.12 menos la masa medida ahora, es la masa del suelo húmedo utilizado (masa del espécimen). Se verifica el contenido del agua de compactación ( $w_c$ ) del suelo remanente en la bandeja. Se debe haber tenido la precaución de cubrir la bandeja con el suelo húmedo durante el proceso de compactación, para evitar que el material perdiera humedad. El contenido de agua de la muestra se determina por medio de la norma INV E-122.
- B.3.17** Se procede en seguida como se indica en la Sección 8 de esta norma.

## ANEXO C (Aplicación obligatoria)

### COMPACTACIÓN DE SUELOS DEL TIPO 2

---

#### C.1 Objeto:

- C.1.1** El método descrito en este Anexo se refiere a la compactación de muestras de suelo del Tipo 2, para determinar su módulo resiliente.
- C.1.2** El método general de compactación de los suelos del Tipo 2 es el estático (una versión modificada del método de doble émbolo). Si se dispone de muestras de tubo de pared delgada, los especímenes no requieren recompactación.
- C.1.3** El proceso consiste en compactar una masa conocida de suelo en un volumen que ha sido fijado por las dimensiones del molde de compactación. El diámetro mínimo admisible para el molde es 71 mm. Se debe escoger un molde cuyo diámetro sea, como mínimo, cinco veces el tamaño máximo de las partículas del suelo a ensayar. Si el tamaño máximo de partícula excede el 25 % del diámetro del molde disponible más grande, las partículas de mayor tamaño deberán ser trituradas. La longitud de todos los especímenes deberá ser igual al doble de su diámetro. La Figura 156C - 1 muestra un ensamble típico para compactar por este método. Como alternativa para los suelos carentes de cohesión, se puede usar un molde con membrana, sostenido por vacío, como se describe en el Anexo B.

#### C.2 Equipo:

- C.2.1** El equipo es el que se muestra en la Figura 156C - 1.

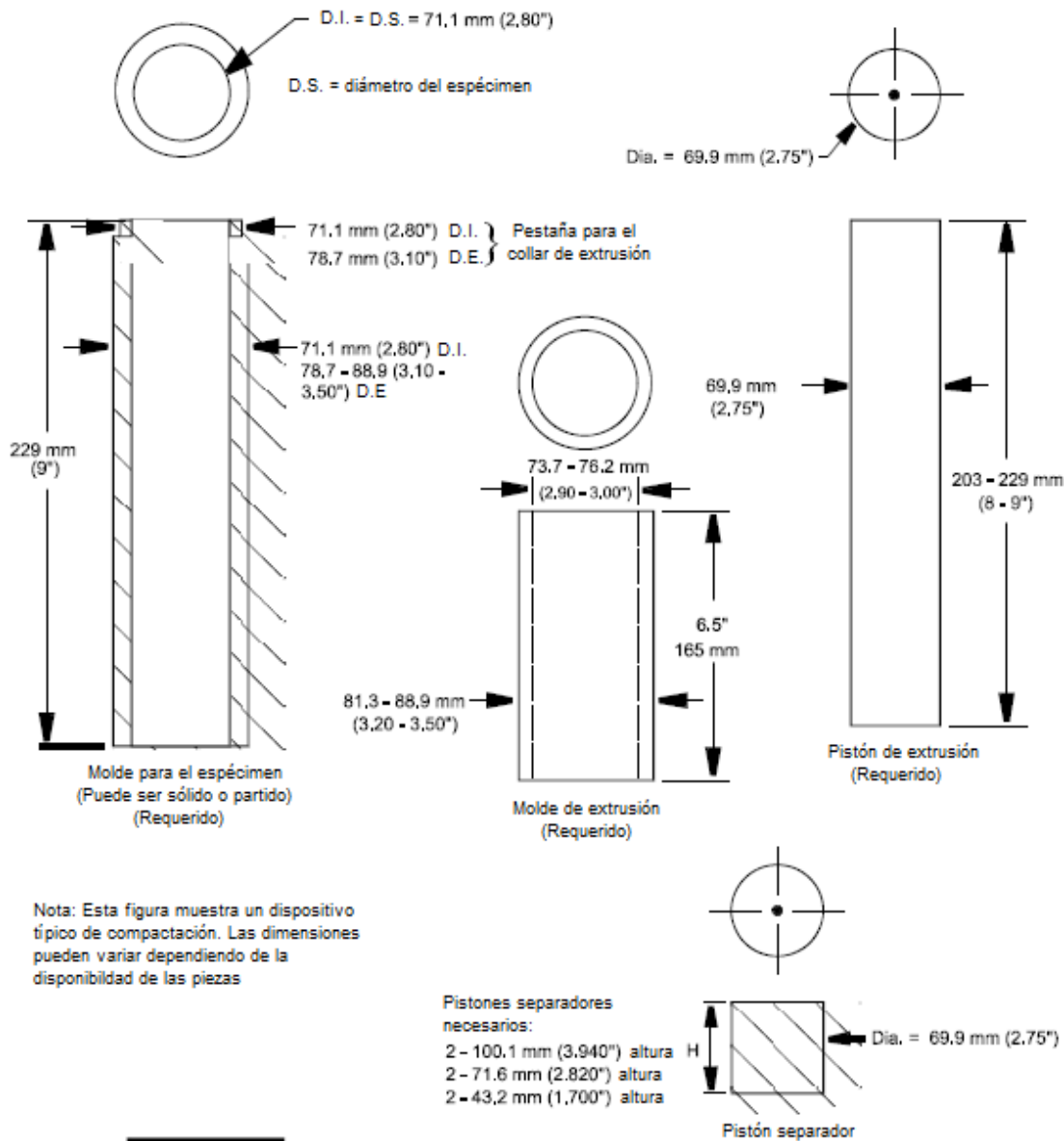
#### C.3 Procedimiento:

- C.3.1** Para compactar las muestras mediante este método, el material se debe colocar en el molde en cinco capas. La masa del suelo húmedo requerido para cada capa,  $W_L$ , se determina como  $W_t/5$ .
- C.3.2** Se coloca uno de los pistones separadores dentro del molde de la muestra.

- C.3.3** Se coloca la masa del suelo  $W_L$ , determinada en el paso C.3.1, dentro del molde para la muestra. Se usa una espátula para quitar el suelo del borde del molde y formar un ligero montículo en el centro.
- C.3.4** Se inserta el segundo pistón separador y se coloca el conjunto en la máquina de carga a presión. Se aplica una carga pequeña y se ajusta la posición del molde con respecto a la masa de suelo, de manera que las distancias entre los bordes del molde y los respectivos tapones sean iguales. La presión desarrollada por el suelo a causa de la carga inicial sirve para mantener el molde en su lugar. Teniendo ambos pistones separadores simultáneamente en posición para que no haya cambio de volumen, se obtienen masas unitarias más uniformes por capa.
- C.3.5** Se aumenta lentamente la carga, hasta que los pistones descansen firmemente contra los extremos del molde. Se mantiene esta carga por lo menos durante 1 minuto. La cantidad de rebote del suelo depende de la rata de carga y de la duración de la misma. Para una rata de carga más baja y a mayor duración de la carga, el rebote será menor (Figura 156C - 2).
- Nota C.1: Para obtener densidades uniformes, es necesario tener mucho cuidado para centrar la primera capa de suelo exactamente entre los extremos del molde. Las verificaciones y los ajustes necesarios se deben hacer luego de completar los pasos C.3.4 y C.3.5.*
- Nota C.2: Medir los movimientos del pistón de compactación para determinar el volumen alcanzado por cada capa, es una alternativa aceptable al uso de los pistones separadores para ello.*
- C.3.6** Se disminuye la carga hasta cero y se retira el conjunto de la máquina de carga.
- C.3.7** Se remueve el pistón de carga, se escarifica la superficie de la capa compactada, se pone la masa correcta del suelo,  $W_L$ , para una segunda capa y se forma un montículo. Se agrega un pistón espaciador de la altura mostrada en la Figura 156C - 3.
- C.3.8** Se aumenta la carga lentamente, hasta que los pistones separadores descansen firmemente contra el borde del molde. Se mantiene la carga por lo menos durante 1 minuto (Figura 156C - 3).
- C.3.9** Se remueve la carga, se voltea el molde y se remueve el pistón separador inferior dejando el superior en posición. Se escarifica la superficie del fondo de la capa 1 y se pone la masa correcta del suelo,

$W_L$ , para la tercera capa y se forma un montículo. Se añade un pistón separador de la altura mostrada en la Figura 156C - 4.

- C.3.10** Se coloca el ensamble en la máquina de carga. Se aumenta la carga lentamente, hasta que los pistones separadores descansan firmemente contra el borde del molde. Se mantiene la carga por lo menos durante 1 minuto.
- C.3.11** Se siguen los pasos indicados en las Figuras 156C - 5 y 156C - 6 para compactar las otras dos capas.
- C.3.12** Después que se haya completado la compactación, se determina el contenido del agua del suelo remanente en la bandeja ( $w_c$ ), empleando para ello la norma INV E-122.
- C.3.13** Se coloca el pistón de extrusión dentro del molde de compactación y se fuerza el espécimen hacia afuera del molde compactación y dentro del molde de extrusión. La extrusión debe ser cuidadosa, para evitar cualquier impacto sobre el espécimen.
- C.3.14** Se usa el molde de extrusión para deslizar cuidadosamente el espécimen compactado sobre una placa sólida. La placa debe ser circular, hecha de un material que no absorba humedad, con un diámetro igual al del espécimen y un espesor de 13 mm.
- C.3.15** Se determina la masa del espécimen compactado, con aproximación al gramo. Se miden la altura y el diámetro del espécimen con aproximación a 0.25 mm (0.01") y se registran los valores en un formato adecuado.
- C.3.16** Se coloca sobre la superficie superior del espécimen una placa igual a la descrita en el paso C.3.14.
- C.3.17** Empleando un dilatador de membranas al vacío, se coloca una membrana sobre el espécimen. Se halan cuidadosamente los extremos de la membrana sobre las placas, y se asegura la membrana a ellas colocando aros tóricos u otros sellos de presión para proporcionar un sellado hermético.
- C.3.18** En seguida, se procede como se indica en la Sección 7 de esta norma.

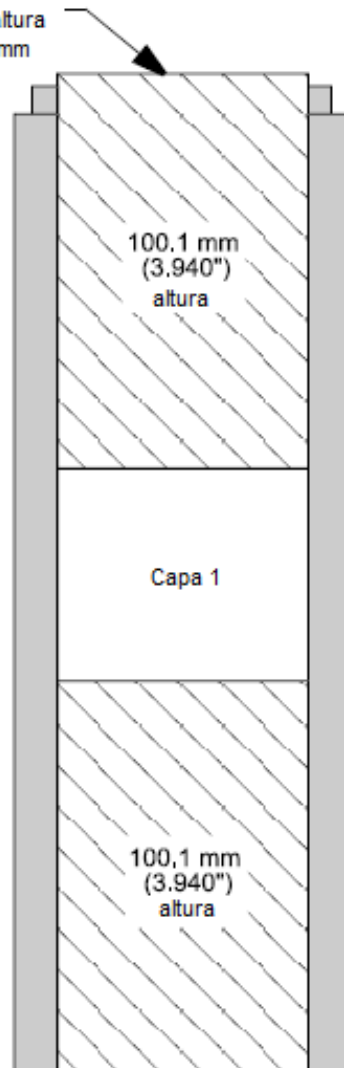


Nota: Esta figura muestra un dispositivo típico de compactación. Las dimensiones pueden variar dependiendo de la disponibilidad de las piezas

**SIN ESCALA**

Figura 156C - 1. Equipo para la compactación estática de suelos del Tipo 2

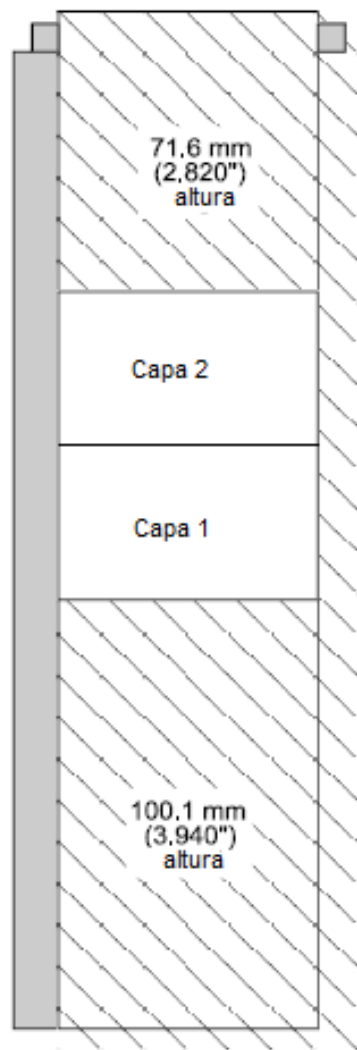
Los pistones deben ser cilindros sólidos de altura especificada y 70.9 mm (2.79") de diámetro



#### **PASO C.3.5 - CAPA 1**

- Se mide la masa correcta de suelo para compactar una capa
- Se coloca en el material en el molde y se remueve
- Se insertan pistones de altura dada
- Los dos pistones compactan hasta que quedan a ras con el borde del molde
- Se remueve el pistón superior
- Se escarifica la superficie de la capa 1
- Se procede con el paso siguiente

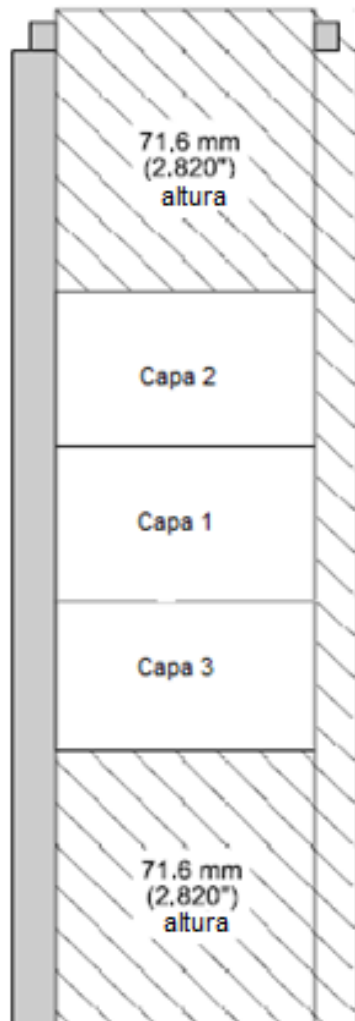
Figura 156C - 2. Compactación de la primera capa de un suelo de Tipo 2

**PASO C.3.7 - CAPA 2**

- Se mide la masa correcta para usar en la capa
- Se coloca el material en el molde y se forma un montículo
- Se inserta el pistón de 71.6 mm
- Se presiona hasta que los pistones quedan a ras con los bordes del molde
- Se voltea el molde y se retira el pistón de 100.1 mm, dejando el otro en su lugar
- Se escarifica la superficie expuesta de la capa 1
- Se procede con el paso siguiente

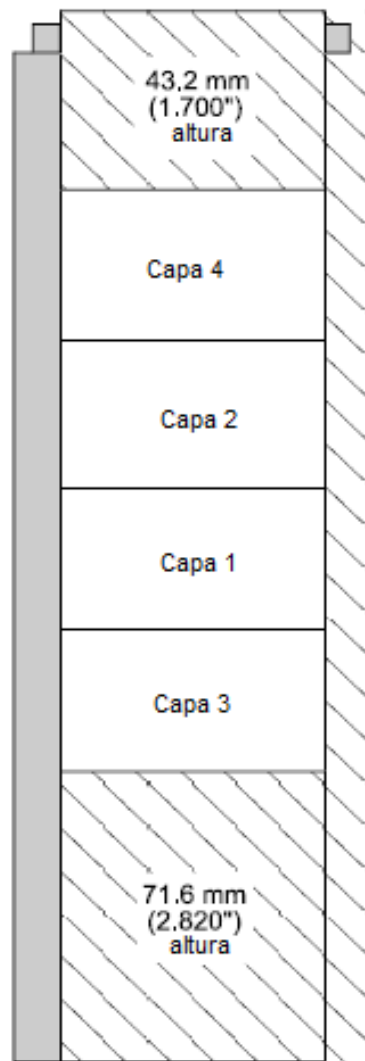
Figura 156C - 3. Compactación de la segunda capa de un suelo de Tipo 2



**PASO C.3.9 - CAPA 3**

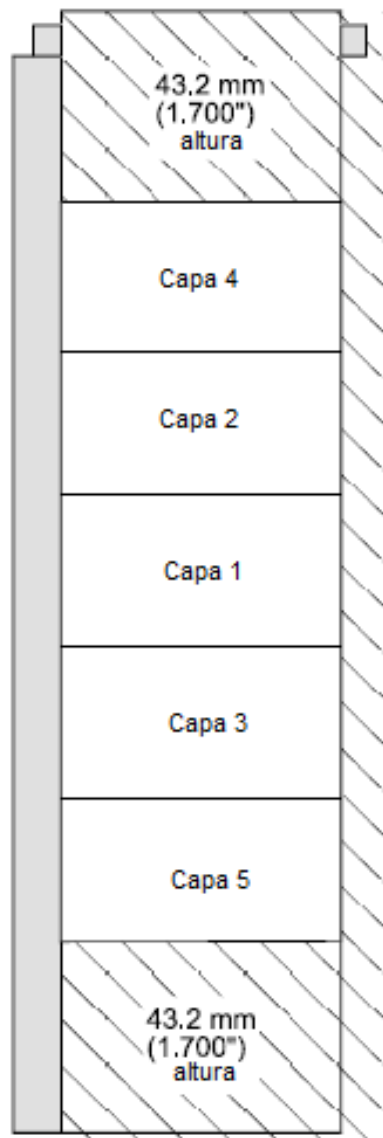
- Se mide la masa correcta para usar en la capa
- Se coloca el material en el molde y se forma un montículo
- Se inserta el pistón de 71.6 mm
- Se presiona hasta que los pistones quedan a ras con los bordes del molde
- Se voltea el molde y se retira el pistón que está sobre la capa 2, dejando en su lugar el que está sobre la capa 3
- Se escarifica la superficie expuesta de la capa 2
- Se procede con el paso siguiente

Figura 156C - 4. Compactación de la tercera capa de un suelo de Tipo 2

**PASO 3.11 - CAPA 4**

- Se mide la masa correcta para usar en la capa
- Se coloca el material en el molde y se forma un montículo
- Se inserta el pistón de 43.2 mm
- Se presiona hasta que los pistones quedan a ras con los bordes del molde
- Se voltea el molde y se retira el pistón de 71.6 mm, dejando el otro en su lugar
- Se escarifica la superficie expuesta de la capa 3
- Se procede con el paso siguiente

Figura 156C - 5. Compactación de la cuarta capa de un suelo de Tipo 2

**PASO 3.11 - CAPA 5**

- Se mide la masa correcta para usar en la capa
- Se coloca el material en el molde y se forma un montículo
- Se inserta el pistón de 43.2 mm
- Se presiona hasta que los pistones quedan a ras con los bordes del molde
- Se saca el espécimen del molde con un aparato de extrusión
- Se envuelve en una membrana de caucho
- Se somete a ensayo para hallar el módulo resiliente

Figura 156C - 6. Compactación de la quinta capa de un suelo de Tipo 2

**Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente**

## MEDIDA DEL POTENCIAL DE COLAPSO DE UN SUELO PARCIALMENTE SATURADO

INV E – 157 – 13

### 1 OBJETO

---

- 1.1 Este procedimiento de ensayo tiene por objeto determinar la magnitud del colapso unidimensional que se produce en el momento en que se inunda un suelo parcialmente saturado.
- 1.2 Este procedimiento se puede utilizar para determinar (1) la magnitud del colapso potencial que puede ocurrir para un esfuerzo vertical (axial) determinado y (2) un índice para clasificar el potencial de colapso.
- 1.3 En la norma se describen la técnica de preparación de la muestra, el equipo necesario, el procedimiento a seguir para cuantificar el cambio de altura causado por el colapso y los procedimientos para la presentación de los resultados.
- 1.4 El método es aplicable tanto a muestras inalteradas de suelo como remoldeadas.
- 1.5 Esta norma reemplaza la norma INV E–157–07.

### 2 DEFINICIONES

---

- 2.1 *Colapso* – Disminución de altura que experimenta un suelo confinado lateralmente y sometido a un esfuerzo vertical constante, en el momento de ser inundado. Un suelo con susceptibilidad al colapso puede experimentar deformaciones verticales pequeñas bajo el efecto de esfuerzos verticales importantes mientras su contenido en humedad sea bajo; sin embargo, puede sufrir asentamientos (que pueden ser de gran magnitud) luego de ser inundado, sin que el esfuerzo vertical se incremente. No es necesario que los esfuerzos verticales sean de gran magnitud para que un suelo pueda colapsar.
- 2.2 *Índice de colapso ( $I_e$ ), porcentaje* – Magnitud relativa del colapso, determinada para un esfuerzo vertical de 200 kPa (2 t/pie<sup>2</sup>), el cual se calcula con cualquiera de las ecuaciones incluidas en el numeral 2.3, de acuerdo con las instrucciones que se presentan más adelante.

**2.3 Potencial de colapso ( $I_c$ ), porcentaje** – Magnitud relativa del colapso, determinada para cualquier nivel de esfuerzo, la cual se calcula con la expresión:

$$I_c = \left[ \frac{d_f - d_0}{h_0} - \frac{d_i - d_0}{h_0} \right] 100 = \left[ \frac{d_f - d_i}{h_0} \right] 100 \quad [157.1]$$

Donde:  $d_0$ : Lectura en el dial después de la carga de ajuste, mm (pg.);

$h_0$ : Altura inicial del espécimen, mm (pg.);

$d_f$ : Lectura en el dial al nivel apropiado de esfuerzo después de inundar, mm (pg.);

$d_i$ : Lectura en el dial al nivel apropiado de esfuerzo antes de inundar, mm (pg.);

$(d_f - d_0)/h_0$ : Deformación unitaria al nivel apropiado de esfuerzo después de inundar;

$(d_i - d_0)/h_0$ : Deformación unitaria al nivel apropiado de esfuerzo antes de inundar.

La anterior expresión se puede reescribir en términos de la relación de vacíos:

$$I_c = \frac{\Delta e}{1 + e_0} \times 100 \quad [157.2]$$

Donde:  $\Delta e$ : Cambio producido en la relación de vacíos a causa de la inundación;

$e_0$ : Relación de vacíos inicial.

Como el ensayo se realiza en condición unidimensional,  $I_c$  también se puede expresar de la siguiente manera:

$$I_c = \frac{\Delta h}{h_0} \times 100 \quad [157.3]$$

Donde:  $\Delta h$ : Cambio de altura del espécimen a causa de la inundación, mm (pg.);

$h_0$ : Altura inicial del espécimen, mm (pg.).

### 3 RESUMEN DEL MÉTODO

---

- 3.1** El método de ensayo consiste en colocar un espécimen de suelo con el contenido natural de humedad en un consolidómetro, aplicando una presión vertical predeterminada e inundándolo con un fluido para inducirle el potencial de colapso. El fluido debe ser agua destilada y desionizada cuando se esté evaluando el índice de colapso,  $I_c$ . El fluido puede simular el agua de los poros del espécimen u otra condición de campo tal como sea necesario, cuando se esté evaluando el potencial de colapso,  $I_c$ .

### 4 IMPORTANCIA Y USO

---

- 4.1** Los suelos susceptibles al colapso se encuentran en cualquier parte del mundo. Tienen en el campo, típicamente, densidades y humedades naturales bajas. Las obras de ingeniería fundadas sobre suelos susceptibles al colapso se pueden dañar de repente y, a menudo, se inducen grandes asentamientos cuando estos suelos se saturan después de la construcción. La predicción del potencial de colapso es importante para el diseño de muchas estructuras de ingeniería.
- 4.2** El potencial de colapso,  $I_c$ , se usa para estimar los asentamientos que pueden ocurrir en una capa de suelo en un sitio particular.  $I_c$  se determina con las ecuaciones presentadas en el numeral 2.3, aplicando un esfuerzo vertical predeterminado y fluidos a un espécimen tomado de la capa de suelo. El asentamiento de la capa de suelo para el esfuerzo vertical aplicado se obtiene multiplicando  $I_c$  por  $H/100$ , donde  $H$  es el espesor de la capa de suelo.
- 4.2.1** Los procedimientos para estimar el potencial de colapso son inciertos, porque no se puede aplicar un criterio único a todos los suelos susceptibles al colapso. Por ejemplo, algunos suelos se pueden expandir después de que el fluido es añadido al espécimen hasta que se le aplique un esfuerzo vertical suficiente para contrarrestar la expansión. El colapso puede ocurrir, entonces, después de la aplicación del esfuerzo adicional vertical. Este método se puede usar para

determinar el potencial de colapso,  $I_c$ , a una presión vertical particular, o el índice de colapso,  $I_e$ , bajo una presión aplicada de 200 kPa. Se puede estimar el valor de  $I_c$  para una presión vertical menor, asumiendo que a la presión vertical menor el suelo no se expande después de inundado.

- 4.2.2** La magnitud del asentamiento depende de la extensión del frente de humedecimiento y de la disponibilidad de agua, datos que raramente pueden ser pronosticados antes del colapso.
- 4.3** El índice de colapso,  $I_e$ , se usa para medir una propiedad índice básica del suelo.
- 4.3.1**  $I_e$  es comparable al índice de expansión medido de acuerdo con la norma ASTM D 4829 y se emplea para describir el grado de colapso que puede exhibir un suelo en particular, bajo determinadas condiciones.
- 4.3.2** El índice de colapso,  $I_e$ , no intenta reproducir ninguna condición particular de campo, como la carga colocada, la estructura de suelo, o la química del agua de los poros. En este procedimiento se mantienen constantes las condiciones de prueba, permitiendo la correlación directa de datos entre organizaciones y la investigación directa de un aspecto particular del comportamiento del suelo.
- 4.3.3** El valor de  $I_e$  se clasifica en la Tabla 157 - 1.

Tabla 157 - 1. Clasificación del Índice de Colapso,  $I_e$

GRADO DEL COLAPSO DEL ESPÉCIMEN	ÍNDICE DE COLAPSO $I_e$ , %
Ninguno	0
Ligero	0.1 a 2.0
Moderado	2.1 a 6.0
Moderadamente severo	6.1 a 10.0
Severo	> 10

## 5 EQUIPO

- 5.1** El equipo de ensayo es el mismo que especifica la norma INV E-151.



- 5.2** Para montar el ensayo, se deberán utilizar piedras porosas previamente secadas al aire, con el fin de evitar que la probeta pueda tomar agua por capilaridad.

## **6 PREPARACIÓN DEL ESPÉCIMEN**

---

- 6.1** Los especímenes pueden ser compactados, remoldeados o tomados de muestras inalteradas. Los especímenes inalterados se deben preparar de acuerdo con las instrucciones de la norma INV E-151.
- 6.2** Se deben usar muestras relativamente inalteradas para determinar el potencial de colapso,  $I_c$ . Puesto que los suelos susceptibles al colapso son sensibles a los métodos de muestreo usando fluidos, las muestras deben ser tomadas usando métodos secos. Métodos de muestreo en seco, incluyendo barrenos de doble tubo y tallado a mano de bloques, resultan satisfactorios.

## **7 CALIBRACIÓN**

---

- 7.1** El consolidómetro se debe montar y calibrar según se indica la norma INV E-151.

## **8 PROCEDIMIENTO**

---

- 8.1** Se deberá seguir el procedimiento de ensayo descrito en la norma INV E-151, con las siguientes variaciones o cuidados particulares:
- 8.1.1** Comprobar que las piedras porosas estén secas.
- 8.1.2** Se coloca el espécimen en el dispositivo de carga, inmediatamente después de determinar la masa inicial y altura, luego de su compactación o tallado. Se ensambla en el aparato de carga el anillo con el espécimen, el papel filtro, si se usa, y las piedras porosas secadas al aire. Se envuelven el espécimen, el anillo, el papel filtro, si lo hay, y las piedras porosas, tan pronto como sea posible, con una membrana de plástico floja, toalla de papel húmeda o lámina de aluminio, para minimizar cambios en el contenido de humedad y en el volumen del espécimen a causa de la evaporación. Esta envoltura se puede retirar y descartar a la hora de la inundación del espécimen. Se

aplica una presión de asentamiento o ajuste de, por lo menos, 5 kPa. Dentro de los 5 minutos siguientes a la aplicación de la carga de asentamiento, se aplican incrementos de carga cada hora con el contenido natural de agua, hasta alcanzar el valor del esfuerzo vertical para el que se desea conocer el colapso. Los incrementos de carga deben ser 12, 25, 50, 100, 200, etc. kPa. Se debe medir y anotar la deformación antes de aplicar cada incremento de carga.

*Nota 1: El intervalo de tiempo entre incrementos de carga antes de la saturación se ha limitado a una hora, para evitar una excesiva evaporación de la humedad de la probeta, que pudiera dar lugar a resultados erróneos.*

- 8.2** La presión a ser aplicada al espécimen de suelo antes de la inundación depende de si el valor a ser determinado como apropiado para la situación de diseño es  $I_c$  o  $I_e$ .
- 8.3** Se inunda la probeta con el fluido 1 hora después de aplicar el esfuerzo vertical apropiado y luego de registrar la lectura del dial de deformación,  $d_i$ . Se deben registrar lecturas de deformación axial contra tiempo a, aproximadamente, 0.1, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 15, 30 minutos y 1, 2, 4, 8 y 24 horas después de adicionar el fluido, o según lo establece la norma INV E-151, para observar el comportamiento de la curva que se obtiene al graficar estas dos variables y poder determinar el equilibrio del proceso estudiado. Se debe esperar hasta que se equilibre el proceso de colapso, o un tiempo mínimo de 24 horas, y anotar la lectura del medidor de deformaciones. Esta es la lectura  $d_f$ .

*Nota 2: En suelos de alta permeabilidad, el colapso puede ocurrir rápidamente y su dependencia del tiempo puede resultar difícil de medir.*

- 8.3.1** El fluido para determinar  $I_e$  deberá ser agua destilada y desionizada.
- 8.3.2** Se deberán usar fluidos adecuados para diferentes condiciones del lugar o cambios anticipados en las características del agua freática, cuando se desee determinar  $I_c$ . Estos fluidos deben ser descritos en el informe.
- 8.4** Se añade el fluido permitiendo que el espécimen se sature únicamente desde la base, para que no quede aire atrapado dentro del espécimen.
- 8.5** La duración del incremento de carga que sigue a la inundación, debe ser de toda la noche o hasta que se produzca la consolidación primaria, de acuerdo con el procedimiento de la norma INV E-151.

- 8.6** Los esfuerzos verticales adicionales se pueden colocar en los incrementos establecidos en la norma INV E-151 según se requiera, o hasta obtener la pendiente de la curva esfuerzo-deformación. Se registra la relación deformación-tiempo, como en el numeral 8.3. Se debe dejar cada incremento durante toda la noche o hasta que la consolidación primaria se haya completado.
- 8.7** Finalizado el proceso, se deberá desmontar el equipo, siguiendo las indicaciones incluidas en la norma INV E-151.

## 9 CÁLCULOS

- 9.1** Se calculan los porcentajes de compresión o deformación unitaria para cada presión aplicada antes de la inundación.
- 9.2** Se dibuja una gráfica semilogarítmica que relacione esfuerzo con deformación, donde el esfuerzo se encuentre en las abscisas en escala logarítmica y la deformación en las ordenadas en escala aritmética. Si se ha determinado la gravedad específica de las partículas sólidas del suelo, se puede colocar la relación de vacíos en lugar de la deformación unitaria.
- 9.2.1** La Figura 157 - 1 muestra los datos de un ensayo realizado para medir el potencial de colapso. Calculando  $I_c$  mediante la ecuación del numeral 2.3, para una presión vertical predeterminada de 100 kPa, se obtiene:

$$I_c = (9.6 - 1.5) = 8.1$$

Donde el punto C está a 9.6 % de deformación y B esta a 1.5 % de deformación. El potencial de asentamiento de una capa de suelo de 3 m (10 pies) de espesor con este potencial de colapso, se puede expresar de la siguiente manera, como se indica en el numeral 4.2:

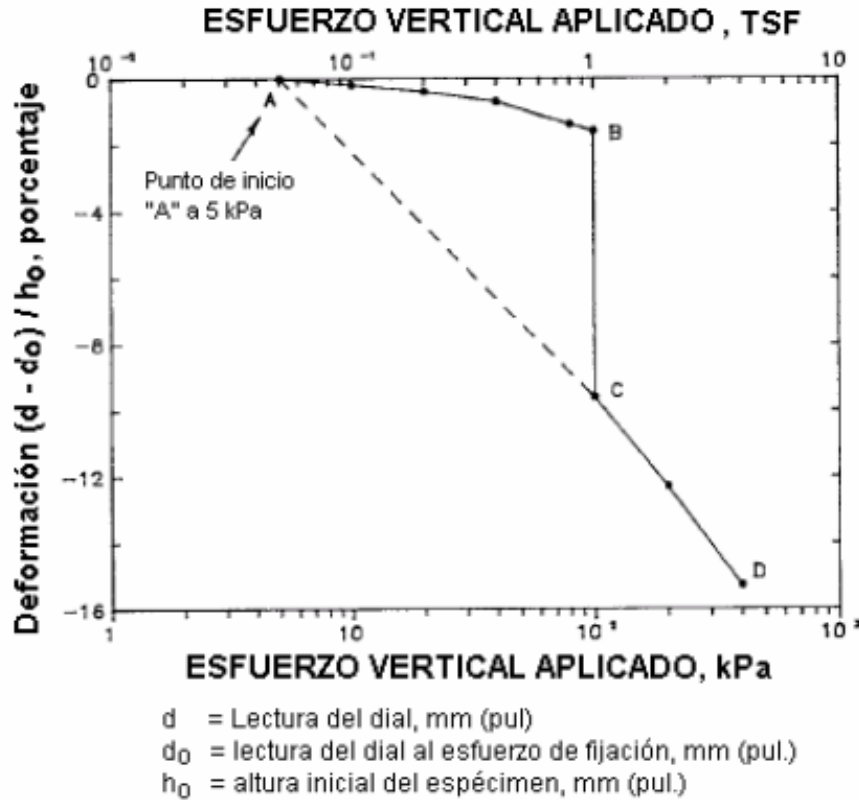
$$\Delta H = \frac{I_c \times H}{100} = \frac{8.1 \times 3}{100} = 0.24 \text{ m}$$

- 9.2.2** El potencial de colapso se puede estimar para un esfuerzo vertical aplicado menor de 100 kPa, calculando la diferencia de deformación entre las curvas en condición inundada (a trazos) y no inundada. Por ejemplo, en la figura 1 el potencial de colapso a 40 kPa, es:

$$I_c = (6.8 - 0.8) = 6.0$$

En este caso, el potencial de asentamiento para la capa de 3 metros de espesor es:

$$\Delta h = \frac{l_c \times h}{100} = \frac{6.0 \times 3}{100} = 0.18 \text{ m}$$



NOTA:  $(d - d_0) / h_0$  se multiplica por 100 para obtener porcentaje

Figura 157 - 1. Ejemplo de una curva de compresión de la prueba de potencial de colapso

## 10 INFORME

**10.1** El informe deberá incluir los siguientes aspectos:

**10.1.1** Datos de identificación y descripción de la muestra ensayada, indicando si la probeta es inalterada o remodelada.

**10.1.2** Contenido de humedad inicial y final, y densidad seca.

**10.1.3** Dimensiones de la muestra ensayada.

- 10.1.4 Descripción del consolidómetro utilizado.
- 10.1.5 Esfuerzo vertical aplicado en el momento de inundar la probeta.
- 10.1.6 Porcentaje de compresión o de deformación del espécimen, para cada esfuerzo vertical aplicado antes de la inundación.
- 10.1.7 La curva esfuerzo-deformación mencionada en el numeral 9.2.
- 10.1.8 El índice de colapso,  $I_e$ , o el potencial de colapso,  $I_c$ , el que sea aplicable.
- 10.1.9 Todas las desviaciones con respecto a estos procedimientos, incluyendo secuencias especiales de carga, preparación especial del espécimen, dimensiones especiales y fluido de inundación.

## 11 PRECISIÓN Y SESGO

---

- 11.1 *Precisión* – No se presentan datos sobre precisión, debido a la naturaleza de los materiales sometidos a ensayo según esta norma.
- 11.2 *Sesgo* – No hay valor de referencia aceptado para este método de ensayo; por lo tanto, no se puede determinar el sesgo.

## 12 NORMAS DE REFERENCIA

---

ASTM D 5333 – 03

**Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente**

# DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE SALES SOLUBLES EN LOS SUELOS

INV E – 158 – 13

## 1 OBJETO

---

- 1.1 El objeto de esta norma es describir un procedimiento de ensayo que permite determinar el contenido de sales en los suelos mediante el tratamiento con agua destilada y la correspondiente disolución.
- 1.2 Esta norma reemplaza la norma INV E–158–07.

## 2 RESUMEN DEL MÉTODO

---

- 2.1 El contenido de las sales de los suelos se determina pesando el residuo, obtenido por evaporación, de una cantidad proporcional del extracto acuoso del mismo.

## 3 EQUIPO Y MATERIALES

---

- 3.1 *Un frasco de vidrio* – Con boca ancha y tapón hermético, de un litro (1000 ml) de capacidad.
- 3.2 *Dos cápsulas* – De porcelana, cada una de unos 200 ml de capacidad.
- 3.3 *Equipo de filtración* – Con papel de filtro de poro fino.
- 3.4 *Baño María* – Para la evaporación de los extractos acuosos contenidos en las cápsulas.
- 3.5 *Dos balanzas* – Una analítica con una precisión de lectura de 0,0001 g y otra de precisión 0,1 g.
- 3.6 *Horno* – Capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 1.9^{\circ}\text{F}$ ).
- 3.7 *Desecador* – Para el enfriamiento de las cápsulas.
- 3.8 *Pipeta*.
- 3.9 *Probetas* – De 100 y 500 ml.
- 3.10 *Un agitador por volteo*.

**3.11** *Varilla de vidrio.*

**3.12** *Ácido clorhídrico concentrado.*

**3.13** *Agua destilada.*

## **4 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA**

---

**4.1** El ensayo se debe realizar con la muestra completa. En caso de que la muestra contenga partículas gruesas, se debe trabajar con una porción representativa de la fracción que pasa por el tamiz de 2 mm (No. 10), obtenida según lo describe la norma INV E-106. La muestra se deberá someter a secado en el horno a  $110\text{ C} \pm 5^\circ\text{ C}$  ( $230 \pm 9^\circ\text{ F}$ ).

## **5 PROCEDIMIENTO**

---

**5.1** Se obtiene por cuarteo la muestra a analizar, unos 50 g de suelo secado al horno. Se pesa con aproximación 0.1 g ( $M_s$ ).

**5.2** Se introduce la muestra en el frasco de 1000 ml, junto con 500 ml de agua destilada, medidos con la probeta correspondiente.

**5.3** Se agita el frasco con su contenido en el agitador por volteo, durante un tiempo mínimo de una hora, después del cual se deja en reposo hasta que el líquido quede claro.

**5.4** Se extraen del líquido claro unos 250 ml mediante una pipeta o por sifonamiento, y se filtran utilizando papel de filtro de poro fino. Si el extracto acuoso no queda totalmente transparente, ni aún después de filtrado, se tratará de precipitar los coloides mediante una gota de ácido clorhídrico N/20 (a 4 ml de ácido clorhídrico concentrado se les agrega agua destilada hasta completar el volumen de un litro) añadida a la solución turbia. Se deberá filtrar de nuevo después de haber agitado con una varilla de vidrio y haber transcurrido unos minutos. Se deberá repetir el procedimiento con una gota más de ácido clorhídrico N/20, cuantas veces sea necesario, hasta lograr transparencia en la solución filtrada.

**5.5** Del líquido filtrado se miden 100 ml con la probeta correspondiente y se vierten en una de las cápsulas de porcelana. Se toman otros 100 ml y se repite el procedimiento con la otra cápsula.

**5.6** Se llevan las cápsulas al baño María hasta la evaporación total del agua de la solución. La desecación del residuo se deberá completar en el horno, a  $110 \pm 5^\circ\text{ C}$  ( $230 \pm 9^\circ\text{ F}$ ), hasta alcanzar masa constante.



- 5.7** Se sacan las cápsulas del horno y se dejan enfriar en el desecador cerrado. Luego se pesan en la balanza analítica o en la de precisión.

*Nota 1: Las sales del residuo pueden absorber humedad del aire muy rápidamente; para evitarlo, se deberá actuar en el ensayo de forma rápida, para que transcurra el menor tiempo posible desde que se saca la cápsula del desecador hasta obtener su masa.*

- 5.8** Se lava cuidadosamente el interior de cada cápsula para eliminar el residuo soluble, inmediatamente se secan en el horno a  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ \text{F}$ ) durante un período mínimo de 16 horas, después del cual se colocan en el desecador para volver a obtener su masa cuando alcancen la temperatura ambiente.

*Nota 2: Si se encontrara yeso entre las sales solubles, puede que no se disuelva todo en la proporción de suelo y agua, mencionada anteriormente. Como orientación, tratándose de yeso puro se disolvería solo hasta el orden de 1 g en los 500 ml de agua, teniendo que hacer en este caso extremo el ensayo con 1 g en 500 ml. En general, siempre que se obtengan valores por encima de 2 g de residuo por litro de extracto y se sospeche la existencia de yeso (mediante el reconocimiento con cloruro de bario y ácido clorhídrico) se debe repetir el ensayo con menor cantidad de muestra.*

- 5.9** Restando la masa obtenida en el numeral 5.8 de la obtenida en el numeral 5.7, se obtiene la masa del residuo en cada cápsula ( $M_r$ ).

## 6 CÁLCULOS

- 6.1** Se calcula el contenido de sales en cada cápsula, con la expresión:

$$S = \frac{V \times M_r}{v_e \times M_s} \times 100 \quad [158.1]$$

- Donde: S: Contenido de sales solubles con respecto a la masa del suelo seco, %;
- V: Volumen inicial de agua destilada en el frasco, ml (generalmente 500 ml);
- $v_e$ : Volumen del extracto acuoso situado en la cápsula, ml (generalmente 100 ml);
- $M_r$ : Masa en gramos del residuo de la cápsula;
- $M_s$ : Masa inicial del suelo seco, en gramos, introducido en el frasco (generalmente 50 g).

- 6.2** Se calcula el promedio de los contenidos de sales hallados en las dos cápsulas y se reporta dicho promedio como resultado del ensayo.

- 6.3** A veces, interesa conocer la proporción del residuo de sales solubles por litro de extracto acuoso. Su cálculo se puede hacer por medio de la expresión:

$$\frac{M_r}{V_e} \times 1000 \quad [158.2]$$

Si se trabaja en gramos y ml, el resultado vendrá expresado en gramos de residuo de sales por litro de extracto acuoso. Si este resultado se multiplica otra vez por 1000, se obtendrá en mg/l o partes por millón (ppm).

## 7 INFORME

---

- 7.1** El informe deberá incluir los siguientes aspectos:
- 7.1.1** Datos de identificación y descripción de la muestra ensayada.
  - 7.1.2** Descripción del equipo utilizado.
  - 7.1.3** Masas y volúmenes utilizados para los cálculos.
  - 7.1.4** Contenido de sales solubles con respecto a la masa del suelo seco.
  - 7.1.5** Residuo de sales solubles por litro de extracto acuoso o en ppm.

## 8 NORMAS DE REFERENCIA

---

NLT 114/99

## DETERMINACIÓN DE LA SUCCIÓN DE UN SUELO USANDO PAPEL DE FILTRO

INV E – 159 – 13

### 1 OBJETO

---

- 1.1** Este método de ensayo se refiere al uso de papeles de filtro de laboratorio como sensores pasivos para evaluar el potencial (succión) matricial y total del suelo, una medida de la energía libre del agua de los poros o del esfuerzo de tensión ejercido sobre el agua de los poros por la matriz de suelo. El término potencial o succión describe el estado de energía del agua del suelo (presión negativa que ejerce el agua de los poros de un suelo parcialmente saturado).
- 1.2** Este método de ensayo controla las variables para la medición del contenido de agua del papel de filtro que está en contacto con el suelo o en equilibrio con la presión parcial de vapor de agua en el aire de un recipiente hermético, en el que se guarda la muestra de suelo. El papel de filtro se guarda con la muestra de suelo en el recipiente hermético hasta que se establezca el equilibrio de la humedad; es decir, hasta que la presión parcial del vapor de agua en el aire esté en equilibrio con la presión de vapor del agua de los poros en la muestra de suelo.
- 1.3** Este método de prueba provee información sobre la calibración de algunos tipos de papel de filtro usados en la evaluación de la succión matricial y la succión total.
- 1.4** Esta norma reemplaza la norma INV E–159–07.

### 2 DEFINICIONES

---

- 2.1** *Atmósfera* - Una unidad de presión igual a 760 mm de mercurio o 101 kPa a 0° C.
- 2.2** *Succión matricial,  $h_m$  (kPa)* – Es la presión negativa (expresada como un valor positivo), relativa a la presión atmosférica del ambiente sobre el agua del suelo, a la cual se debe someter una solución de composición idéntica a la del agua del suelo, para que alcance el equilibrio con ésta a través de una membrana porosa permeable (Figura 159 - 1). La succión matricial depende de la humedad relativa debida a la diferencia de la presión en el aire y en el agua

a través de la superficie del agua. La humedad relativa o presión de vapor de agua disminuye a medida que el radio de curvatura de la superficie del agua decrece.

- 2.3** *Molalidad, moles/1000 g* –Número de moles de soluto por 1000 gramos de solvente.
- 2.4** *Mol* – Masa molecular de una sustancia, en gramos.
- 2.5** *Succión osmótica, (succión de soluto),  $h_s$  (kPa)* – Es la presión negativa (expresada como un valor positivo), a la cual se debe someter un reservorio de agua pura, para que esté en equilibrio, a través de una membrana semipermeable, con un reservorio que contiene una solución de idéntica composición a la del agua del suelo (Figura 159 - 1).
- 2.6** *pF* – Es una unidad de presión negativa, expresada como el logaritmo en base diez de la altura, en centímetros, que una columna de agua subirá por acción capilar.
- 2.7** *Humedad relativa del suelo,  $R_h$*  – Relación entre la presión de vapor del agua de los poros del suelo y la presión de vapor del agua pura libre.
- 2.8** *Potencial total (kPa)* – La suma de los potenciales gravitacional, de presión, de ósmosis y de gas externo. El potencial se puede identificar con la succión total, cuando se desprecian los potenciales gravitacional y de gas externo.
- 2.9** *Succión total del suelo,  $h$  (kPa)* – Presión manométrica negativa, relativa a la presión externa de gas sobre el agua del suelo, que deberá ser aplicada a un reservorio de agua pura (a la misma cota y temperatura) de tal forma que se mantenga en equilibrio, a través de una membrana semipermeable (que permite el flujo del agua, y no de solutos), entre el agua del reservorio y el agua del suelo. La succión total también se expresa como la suma de dos componentes: la succión matricial ( $h_m$ ) y la succión osmótica ( $h_s$ ) (Figura 159 - 1). En este contexto, la magnitud de la succión total corresponde al trabajo total de las fuerzas de capilaridad, absorción y ósmosis.
- 2.10** *Presión de vapor del agua libre pura (kPa)* – Presión de vapor de saturación del agua libre pura a una determinada temperatura de bulbo seco.
- 2.11** *Presión de vapor del agua de los vacíos del suelo (kPa)* – Presión parcial de vapor de agua que está en equilibrio con el agua de los vacíos del suelo, a una determinada temperatura de bulbo seco.

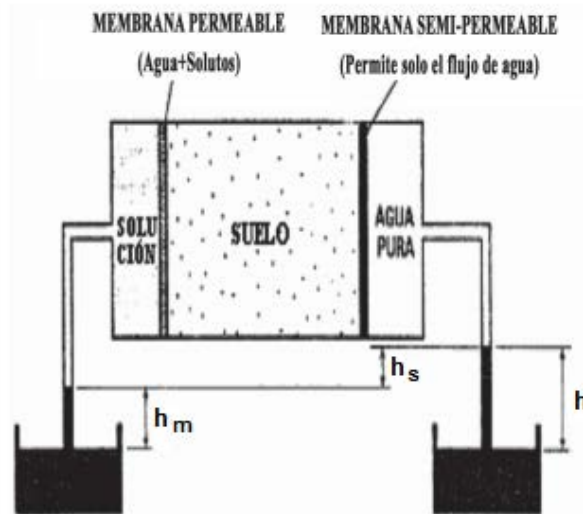


Figura 159 - 1. Representación de los conceptos de succiones matricial ( $h_m$ ), osmótica ( $h_s$ ) y total ( $h$ )

### 3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1** Se ponen papeles de filtro en un recipiente hermético con un espécimen de suelo durante siete días, para permitir que la presión del vapor del agua de los poros en el espécimen, la presión del vapor del agua de los poros en el papel filtro y la presión parcial del vapor del agua en el aire interior del recipiente, alcancen el equilibrio. En seguida, se halla la masa de los papeles de filtro y se determina la succión a partir de una relación de calibración entre el contenido de agua del papel de filtro y la succión aplicable a ese tipo de papel y el procedimiento de este método de ensayo.

### 4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1** La succión del suelo es una medida de la energía libre del agua de los poros de un suelo. En términos prácticos, la succión es una medida de la afinidad del suelo para retener agua y puede proporcionar información sobre parámetros del suelo que son influenciados por el agua contenida en él; por ejemplo, cambios de volumen, deformación, características de resistencia, etc.
- 4.2** La succión del suelo está relacionada con su contenido de agua a través de las curvas características de retención de agua. El contenido de agua del suelo se puede determinar con el método de la norma INV E-122.

- 4.3** Las medidas de succión del suelo se pueden usar con otros parámetros ambientales y del suelo, para evaluar los procesos hidrológicos y para evaluar el potencial de expansión o contracción, la resistencia al corte, los módulos, el estado de esfuerzos in-situ y la permeabilidad de los suelos parcialmente saturados.
- 4.4** El método del papel de filtro para evaluar la succión del suelo es simple y económico, dentro de un rango de 10 a 100 000 kPa (0.1 a 1000 bares).

## 5 EQUIPO Y MATERIALES

---

- 5.1** *Papel de filtro* – Papel de filtro Tipo II, libre de cenizas; por ejemplo, Whatman No. 42, Fisherbrand 9–790A y Schleicher & Schuell No. 589 White Ribbon. Los papeles de filtro se presentan comercialmente en forma circular; un diámetro conveniente es 5.5 cm (2.2").

*Nota 1: Los papeles de filtro pueden ser tratados sumergiéndolos individualmente en una solución de formaldehído al 2% antes de usarlos, para prevenir el crecimiento de organismos o la descomposición biológica. Esta última puede ser significativa cuando los papeles de filtro son expuestos a un ambiente húmedo y caluroso por más de 14 días.*

- 5.2** *Recipiente para el espécimen* – De 120 a 240 ml (4 a 8 onzas) de capacidad, de metal no corrosible o de vidrio, con tapa, para guardar el espécimen con papeles de filtro. El interior del recipiente se puede cubrir con cera para retardar la corrosión.
- 5.3** *Recipientes para el papel de filtro* – Se utilizarán cuando se remueva el papel de filtro de la muestra, luego de haber alcanzado el equilibrio de succión:
- 5.3.1** *Alternativa de recipiente metálico* – Dos recipientes de aluminio o de acero inoxidable de 70 ml (2 onzas) de capacidad, con sus tapas, para secar el papel de filtro. Los recipientes deberán ser numerados mediante estampado metálico. No se acepta, por ningún motivo, escribir la numeración con cualquier tipo de marcador o etiquetado, para evitar su influencia sobre cualquier medida de la masa. Se deben usar guantes quirúrgicos desechables o similares, cada vez que se vayan a manejar los recipientes asignados a las medidas de los papeles de filtro, para evitar que la grasa de las manos pueda afectar cualquier medición de masa.

- 5.3.2** *Alternativa de bolsa plástica* – Bolsa plástica de tamaño suficiente para acomodar los discos de papel de filtro (aproximadamente 60 mm de dimensión), con posibilidad de ser sellada de modo hermético.
- 5.4** *Caja aislante* – De, aproximadamente, 0.03 m<sup>3</sup> (1 pie<sup>3</sup>) de capacidad, aislada con poliestireno espumado u otro material capaz de mantener la temperatura dentro de  $\pm 1^\circ \text{C}$ , cuando la temperatura externa varía  $\pm 3^\circ \text{C}$ .
- 5.5** *Balanza* – Con una capacidad mínima de 20 g, con una posibilidad de lectura de 0.0001 g.
- 5.6** *Horno* – Controlado termostáticamente, preferiblemente de tiro forzado, capaz de mantener uniformemente una temperatura de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ \text{F}$ ).
- 5.7** *Bloque de metal* – De más de 500 g, con una superficie plana, para acelerar el enfriamiento de los recipientes metálicos que contienen el papel de filtro.
- 5.8** *Termómetro* – Para determinar la temperatura del suelo, con una exactitud de  $\pm 1^\circ \text{C}$ .
- 5.9** *Desecador* – De tamaño adecuado, con gel de sílice o sulfato de calcio anhidro.
- 5.10** *Equipo complementario* – Pinzas, cuchillos, cinta aislante plástica o cualquier otra que sea impermeable, cortador de papel, empaques de presión, malla de alambre, discos de latón. Las pinzas deberán ser de, por lo menos, 110 mm (4.5") de longitud.

*Nota 2: El sulfato de calcio anhidro se conoce con el nombre de anhidrita.*

*Nota 3: Se recomienda usar un desecante que cambia de color para indicar que necesita reemplazo.*

## 6 CALIBRACIÓN

---

- 6.1** Se deberá obtener una curva de la calibración aplicable a un filtro específico, siguiendo el procedimiento descrito en la Sección 7, excepto que la muestra de suelo es remplazada con soluciones salinas como el cloruro de potasio de grado reactivo o el cloruro de sodio de molalidad conocida, en agua destilada.
- 6.1.1** Se suspende el papel de filtro sobre, por lo menos, 50 cm<sup>3</sup> de una solución salina en el recipiente para la muestra (Ver numeral 5.2),

colocándolo sobre una plataforma improvisada, hecha de material inerte, como una tubería de plástico o una malla de acero inoxidable.

**6.1.2** Se calcula la succión de la humedad relativa del aire que está sobre la solución por parte de papel de filtro, con la siguiente expresión:

$$h = \frac{R T}{v} \times \ln R_h \quad [159.1]$$

Donde: h: Succión, kPa;

R: Constante universal de los gases ideales, 8.31432 Julios/(mol·K);

T: Temperatura absoluta, °K;

v: Volumen de 1000 moles de agua, 0.018 m<sup>3</sup>;

R<sub>h</sub>: Humedad relativa, fracción.

**6.1.3** Se pueden usar tablas críticas estándar para evaluar la humedad relativa del agua en el equilibrio con la solución salina, como se ilustra en la Tabla 159 - 1.

Tabla 159 - 1. Concentraciones de solución salina para evaluar la succión del suelo

kPa	log kPa	pF	atm	R <sub>h</sub>	20 °C	
					g NaCl	g KCl
					1000 ml DE AGUA	1000 ml DE AGUA
-98	1.99	3.0	-0.97	0.99927	1.3	1.7
-310	2.49	3.5	-3.02	0.99774	3.8	5.3
-980	2.99	4.0	-9.68	0.99278	13.1	17.0
-3099	3.49	4.5	-30.19	0.9764	39.0	52.7
-9800	3.99	5.0	-96.77	0.93008	122.5	165.0

**6.2** En la Figura 159 - 2 se muestran curvas típicas de calibración para dos papeles del filtro (Whatman No. 42, Schleicher & Schuell No. 589). Estas curvas constan de dos partes: el segmento superior representa la humedad retenida como película adsorbida a las superficies de las partículas, mientras el segmento inferior representa la humedad retenida por capilaridad o las fuerzas de



tensión superficial entre partículas. El punto de inflexión para el papel de filtro Whatman No. 42 es  $w_f = 45.3\%$ , y para el papel de filtro Schleicher & Schuell No. 589 es  $w_f = 54\%$ .

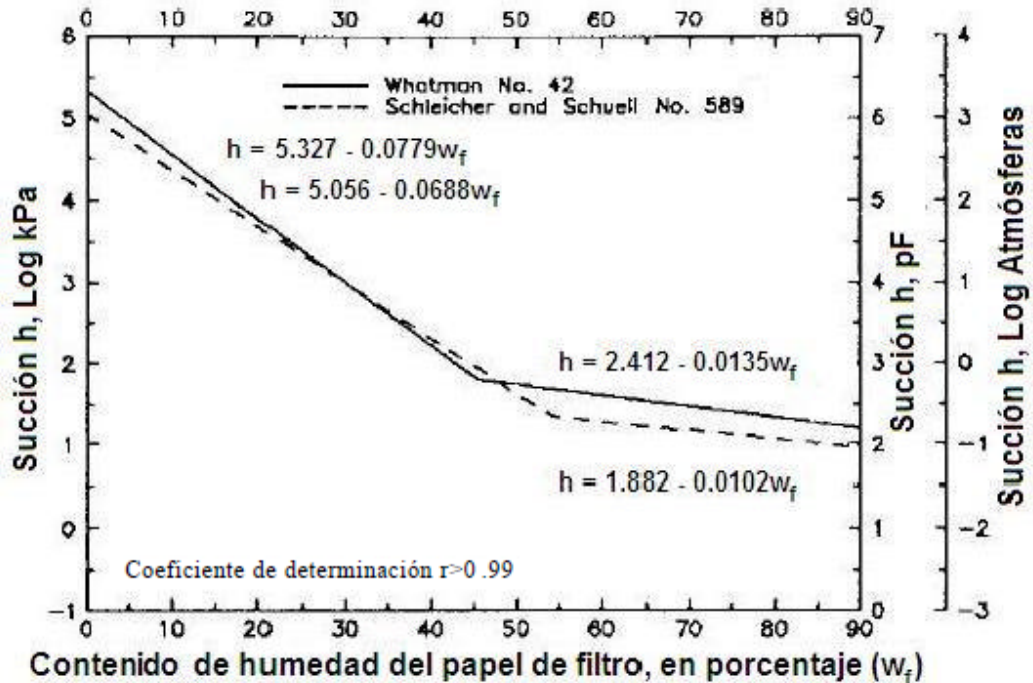


Figura 159 - 2. Curvas de calibración succión-humedad para humedecimiento de papel filtro

- 6.3** Las curvas de calibración mostradas en la Figura 159 - 2 son aplicables a la succión total. La variabilidad en los resultados es de menos del 2% sobre 100 kPa. En suelos con succión de más de 20 kPa, la alteración de la muestra tiene mínima influencia sobre el resultado final. A contenidos de humedad con succiones menores de 20 kPa, la alteración de la muestra aumenta la variabilidad de los resultados. Las escalas de la derecha de la Figura 159 - 2 proporcionan la succión en unidades de pF y en atmósferas de presión; por ejemplo, "h = 2 log Atmosferas" significa una succión de 100 atmósferas, mientras pF = 5 significa 100 000 cm de agua.

## 7 PROCEDIMIENTO

- 7.1** Se secan en el horno los papeles de filtro seleccionados para las pruebas, al menos por 16 horas o durante toda la noche. Luego se colocan en el desecador para almacenamiento hasta el momento de su uso.

**7.2 Medición de la succión** – El procedimiento de ensayo es, básicamente, el mismo, tanto para medir la succión total como la succión matricial. La diferencia radica en el sitio donde se colocará el papel de filtro. Si el papel de filtro no está en contacto con el espécimen de suelo, se medirá la succión total: la transferencia de humedad se limitará a la transferencia de vapor a través del aire interior del recipiente del espécimen. Si el papel de filtro está en contacto físico con el espécimen de suelo, se medirá la succión matricial: el contacto físico entre el suelo y el papel filtro permite la transferencia de fluidos, incluyendo las sales disueltas en el agua de los poros.

*Nota 4: Cuando el suelo no está suficientemente húmedo, no se garantiza un contacto físico adecuado entre el papel de filtro y el suelo, lo que puede causar una medida inexacta de la succión matricial. La succión matricial se puede obtener substrayendo la succión osmótica de la succión total. La succión osmótica se puede determinar midiendo la conductividad eléctrica, según la norma ASTM D 4542. Se puede usar una curva de calibración para relacionar la conductividad eléctrica con la succión osmótica.*

**7.3 Colocación del papel de filtro** – Se coloca una muestra intacta de suelo o los fragmentos de una muestra de suelo, de 200 a 400 g de masa, en el recipiente para el espécimen. La muestra de suelo deberá casi llenar el recipiente, para reducir el tiempo de equilibrio y minimizar los cambios de succión en el espécimen.

**7.3.1 Medición de la succión total** – Se retiran del desecador dos papeles de filtro e inmediatamente se colocan sobre la muestra, pero con el cuidado especial de separarlos de ésta mediante una malla de alambre, un empaque de presión, u otro elemento inerte, con una superficie mínima de contacto entre los papeles de filtro y el suelo (Ver Figura 159 - 3a). Se deberá doblar ligeramente hacia arriba un borde de los papeles de filtro, para facilitar su extracción posterior con las pinzas.

**7.3.2 Medición de la succión matricial** – Se retiran del desecador tres papeles de filtro e inmediatamente se colocan uno sobre otro en contacto físico con la muestra de suelo, tal como se indica en la Figura 159 - 3b. Los dos papeles de filtro exteriores previenen la contaminación del papel de filtro del centro, que es el que se usa para el análisis de la succión matricial. El papel de filtro central deberá ser cortado con unas tijeras, para que su diámetro sea entre 3 y 4 mm menor que los exteriores, con el fin de evitar el contacto directo del suelo con dicho papel.

**7.4 Succión de equilibrio** – Se coloca la tapa del recipiente del espécimen y se sella con, al menos, una vuelta de cinta eléctrica adhesiva. En seguida, se coloca el recipiente sellado en la caja aislante y se lleva ésta a un ambiente donde la

variación de la temperatura sea menor de 3° C. Una temperatura típica nominal es 20° C. Se deberá permitir la succión del papel de filtro y del espécimen dentro del recipiente durante un lapso mínimo de siete días, para que se alcance el equilibrio.

*Nota 5: Si los papeles del filtro son puestos con las muestras de suelo mientras se está en el campo, los papeles del filtro se deben secar en el horno durante una noche y guardarlos luego en un recipiente hermético sobre un desecante, para minimizar la humedad en el papel de filtro. La humedad en el papel de filtro antes de la prueba expande las fibras y altera los espacios vacíos, lo que puede alterar la curva de calibración del papel de filtro. Mientras permanezca en el campo, la caja aislante se debe guardar a la sombra en los días calientes de verano y en un área cálida durante los días fríos de invierno. Después del retorno del campo, la caja aislante se debe colocar en un cuarto con temperatura controlada, aproximadamente a 20° C.*

*Nota 6: El equilibrio de la succión entre el suelo, el papel de filtro y el aire en el recipiente cerrado, es el resultado deseado del período de equilibrio. Se debe reconocer que el proceso de equilibrio depende de la succión inicial del suelo, de la humedad relativa inicial del aire, de la masa de la muestra y del espacio en el recipiente. El período de siete días es suficiente para las condiciones normales de los suelos; sin embargo, bajo otras condiciones, el equilibrio se podrá alcanzar con mayor prontitud. La medida de la succión deberá evitar la condensación de agua, de manera que es necesario un control termostático. El control de la temperatura de la muestra durante el proceso de equilibrio asegura la minimización de los efectos de condensación. El almacenamiento de los recipientes para los especímenes (con éstos y los papeles de filtro dentro) en una caja termostática con aislamiento de poliestireno (por ejemplo, un frigorífico portátil) minimiza las fluctuaciones térmicas. Con un esquema como el descrito, es posible limitar las fluctuaciones de temperatura a  $\pm 0.01^\circ \text{C}$ .*

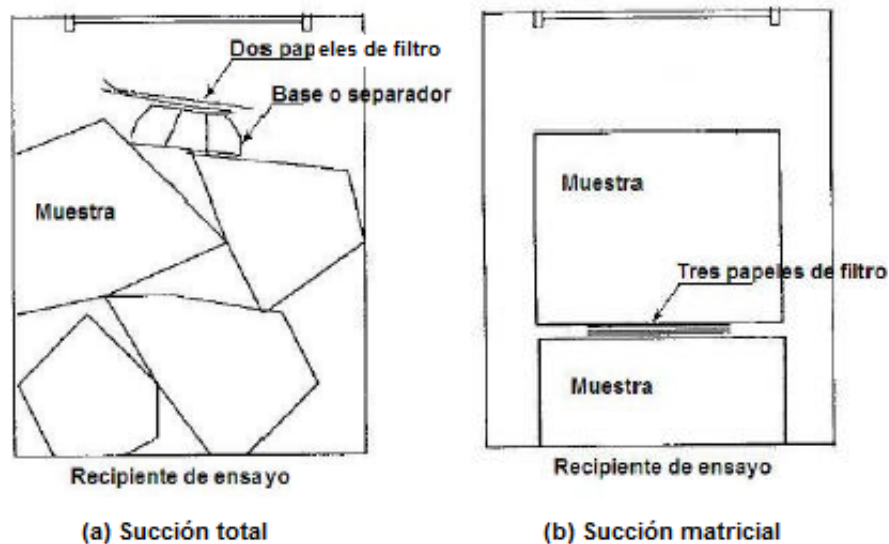


Figura 159 - 3. Montaje del ensayo para determinar la succión

- 7.5** *Predeterminación de la masa del recipiente para el papel de filtro* – Al terminar el período de equilibrio, se colocan los dos papeles de filtro (si se va a medir la succión total) o el filtro central (si se va a medir la succión matricial) en un recipiente para papeles de filtro de masa predeterminada. La masa se determina con precisión de 0.0001 g, antes de que el recipiente para el

espécimen sea removido de la caja aislante y se le llamará la tara fría ( $T_c$ ). Se sugiere que la tara fría se determine en el instante previo a la determinación de su masa con el papel de filtro adentro.

**7.6** *Transferencia de los papeles de filtro* – Utilizando las pinzas, se transfiere cada papel de filtro del recipiente para el espécimen al recipiente metálico (Ver numeral 5.3.1) o a la bolsa plástica (Ver numeral 5.3.2) de masa fría predeterminada ( $T_c$ ). El proceso entero se debe completar en un lapso de 3 a 5 segundos. La clave para que las medidas del contenido de agua de los papeles de filtro sean exitosas, consiste en minimizar la pérdida de agua durante la transferencia del papel de filtro del recipiente para el espécimen y durante la determinación de la masa antes del secado. Por observaciones, se ha detectado una variación de masa de agua del 5 % o más, debido a la evaporación, durante un período de exposición de 5 a 10 segundos, del papel de filtro en un ambiente con humedad relativa de 30 a 50 %.

**7.6.1** *Alternativa de recipiente de metal (numeral 5.3.1)* – Se coloca la tapa suelta sobre el recipiente de metal (no entreabierto). Se debe tener el cuidado de sellar el recipiente de metal después de cada traslado; es decir, se debe tomar el papel del filtro del recipiente de la muestra y se coloca en el recipiente de metal y se sella éste. Se repite el procedimiento para el segundo papel de filtro usando el segundo recipiente metálico de masa predeterminada, si se va a medir la succión total. Los recipientes se deben sellar tan rápido como sea posible, para asegurar que el aire ambiental no altere la condición de humedad de la muestra de suelo o de los papeles de filtro.

**7.6.2** *Alternativa de bolsa plástica* – Se debe transferir rápidamente el papel de filtro a una bolsa plástica de masa inicial predeterminada ( $T_c$ ) y se sella la bolsa. Se repite este procedimiento para cada uno de los papeles de filtro.

**7.7** Inmediatamente después, se determina la masa de cada uno de los recipientes (metálicos o bolsas plásticas) con los papeles de filtro ( $M_1$ ), con una precisión de 0.0001 g.

**7.8** *Secado del papel filtro:*

**7.8.1** *Alternativa de recipiente de metal* – Se colocan el recipiente (o los recipientes en caso de que sean dos) con el papel de filtro en un horno a  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ \text{F}$ ), con la tapa ligeramente entreabierta para permitir el escape de humedad. El recipiente debe permanecer en el

horno por un mínimo de 2 horas. Después de este tiempo, se tapa el recipiente y se deja en el horno por 15 minutos más, para permitir que la temperatura se estabilice. Se retira del horno el recipiente de metal conteniendo el papel de filtro y se determina la masa total seca del conjunto, la cual se llamará  $M_2$ , con una precisión de 0.0001 g. En seguida, se desecha el papel de filtro y se vuelve a determinar la masa del recipiente para el papel de filtro, la cual se llamará la masa caliente ( $T_h$ ), obtenida con una precisión de 0.0001 g. Se repite el mismo procedimiento con los demás recipientes.

*Nota 7: Si los recipientes que contiene el papel de filtro son metálicos, se deberán colocar sobre un bloque de metal por unos 30 segundos para refrescarlos. El bloque de metal actúa como un radiador y reducirá la variación de temperatura durante la determinación de la masa.*

**7.8.2** *Alternativa de bolsa plástica* – Se coloca el papel de filtro a secar en el horno como mínimo 2 horas y luego se pone en un recipiente desecador sobre gel de sílice, o en un desecador estándar, durante un lapso mínimo de 2 a 3 minutos, para que enfríe. Se coloca el papel de filtro dentro de la bolsa plástica y se determina la masa total del conjunto,  $M_2$ . Se saca el papel de filtro de la bolsa plástica y se determina la masa final de la bolsa plástica,  $T_h$ .

**7.8.3** Después de determinadas las masas  $M_2$  y  $T_h$  se deben desechar los papeles de filtro. Bajo ninguna circunstancia, se podrán volver a usar para realizar otro ensayo.

## 8 CÁLCULOS

**8.1** Para cada papel de filtro se debe determinar:

$$M_f = M_2 - T_h \quad [159.2]$$

$$M_w = M_1 - M_2 + T_h + T_c \quad [159.3]$$

Donde:  $M_f$ : Masa del papel de filtro seco, g;

$M_2$ : Masa total seca, g;

$T_h$ : Masa del recipiente (metálico o bolsa) caliente, g;

$M_w$ : Masa de agua en el papel de filtro, g

$T_c$ : Masa del recipiente (metálico o bolsa) frío, g.

*Nota 8.- La masa caliente ( $T_h$ ) puede ser consistentemente menor que la masa fría ( $T_c$ ) cuando se usan recipientes metálicos para los papeles de filtro, debido a la pérdida de humedad adsorbida por la superficie del recipiente cuando se calienta. Las corrientes provenientes de la elevación del aire caliente del recipiente también contribuyen a una masa menor del recipiente caliente. La diferencia media entre las masas caliente y fría del recipiente para 69 medidas fue de  $4.6 \pm 0.9$  % de la masa de papel de filtro y se deberá considerar, si se desea que las medidas de la masa de papel de filtro tengan un error menor de 5 %. No hay datos disponibles en relación con las bolsas plásticas.*

**8.2** Se determina la humedad del papel de filtro ( $w_f$ ) así:

$$w_f = \frac{M_w}{M_f} \times 100 \quad [159.4]$$

Donde:  $w_f$ : Contenido de agua del papel de filtro, %.

**8.3** Se convierte la humedad del papel de filtro ( $w_f$ ) a un valor de succión, con ayuda de una curva específica de calibración o mediante la fórmula:

$$h = (m \times w_f) + b \quad [159.5]$$

Donde:  $m$ : Pendiente de la curva de calibración del papel de filtro,  $\log_{10}$  kPa / % del contenido de agua;

$b$ : Ordenada al origen de la curva de calibración del papel de filtro,  $\log_{10}$  kPa.

**8.3.1** La curva de calibración definida por la ecuación del numeral 8.3 es única para cada tipo de papel de filtro y consiste en una línea con dos pendientes, como se muestra en la Figura 159 - 2. La succión determinada de la curva de calibración se puede tomar como el promedio de las succiones evaluadas a partir de los contenidos de agua si se usaron dos papeles de filtro para determinar la succión. Los resultados se deberán descartar, si la diferencia de succión entre los dos papeles de filtro excede de 0.5 log kPa.

## 9 INFORME

**9.1** La Tabla 159 - 2 es un ejemplo de formato para recoger los datos de la evaluación de succión de suelos, utilizando el método del papel de filtro.

Tabla 159 - 2. Evaluación de la succión de un suelo empleando papel de filtro

Perforación No.: \_\_\_\_\_

Fecha muestreo: \_\_\_\_\_

Muestra No.: \_\_\_\_\_

Papel filtro superior/Papel filtro inferior (círculo)		Superior Inferior	Superior Inferior	Superior Inferior	Superior Inferior	Superior Inferior	Superior Inferior
Masa fría, g	$T_c$						
Masa del papel filtro húmedo + Masa fría, g	$M_1$						
Masa del papel filtro seco + Masa caliente, g	$M_2$						
Masa caliente, g	$T_h$						
Masa del papel filtro seco, g ( $M_2 - T_h$ )	$M_f$						
Masa del agua en el papel filtro, g ( $M_1 - M_2 - T_c - T_h$ )	$M_w$						
Contenido de agua del papel filtro, g ( $M_w + M_f$ )	$W_f$						
Succión, pF	$h$						

- 9.2** Se deben informar el contenido de agua del suelo correspondiente a la succión total del suelo, la temperatura de ensayo, el tiempo de equilibrio, el método de calibración del papel filtro, y la densidad bulk del suelo.
- 9.3** Se debe reportar la salinidad del agua de los poros, si ella se ha determinado para permitir la evaluación de la succión osmótica y el cálculo de la succión matricial,  $h_m = h - h_s$ .

## 10 PRECISIÓN Y SESGO

- 10.1** *Precisión* – Se están evaluando los datos para establecer la precisión de este método de ensayo.
- 10.2** *Sesgo* – No hay valores de referencia para este método de ensayo y, por lo tanto, no se puede determinar el sesgo.

## 11 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 5298 – 10

**Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente**



## DENSIDAD Y PESO UNITARIO DEL SUELO EN EL TERRENO POR EL MÉTODO DEL CONO Y ARENA

INV E – 161 – 13

### 1 OBJETO

---

- 1.1 Este método de ensayo se usa para determinar en el sitio, con el equipo de cono y arena, la densidad y el peso unitario de suelos compactados.
- 1.2 El método es aplicable a suelos que no contienen cantidades apreciables de fragmentos de roca o de material grueso de tamaño superior a 38 mm (1½").
- 1.3 También se puede utilizar este método para determinar la densidad de suelos inalterados, siempre y cuando los vacíos naturales del suelo sean lo suficientemente pequeños para evitar que la arena usada para el ensayo penetre en dichos vacíos. El suelo u otros materiales que se ensayen, deben tener suficiente cohesión o atracción de partículas, para mantener estables las paredes de un hueco pequeño y deben ser lo suficientemente firmes para soportar las pequeñas presiones que se ejercen al excavar el hueco y al colocar el aparato sobre él, de tal manera que no se produzcan deformaciones ni desprendimientos.
- 1.4 Este método de ensayo no es adecuado para suelos orgánicos, saturados o muy plásticos, los cuales se deforman o se comprimen durante la excavación del hueco requerido para el ensayo. Es posible que este método de ensayo no sea adecuado para suelos constituidos por materiales granulares sueltos que no mantengan estables las paredes del hueco, o que contengan cantidades apreciables de material grueso superior a 38 mm (1½"), como tampoco para suelos granulares con altas relaciones de vacíos.
- 1.5 Cuando los materiales probados contengan cantidades apreciables de partículas mayores a 38 mm (1½"), o cuando se requiera que el volumen de hueco sea superior a 2830 cm<sup>3</sup> (0.1 pie<sup>3</sup>), resultan más apropiados los métodos de ensayo descritos en las normas INV E-165 o ASTM D 5030. Si las partículas no exceden de 75 mm (3"), se podrá aplicar el Anexo C de la presente norma.
- 1.6 Esta norma reemplaza la norma INV E-161-07.

## 2 RESUMEN DEL MÉTODO

---

- 2.1** Se excava manualmente un hueco en el suelo que se va a ensayar y se guarda en un recipiente todo el material excavado. Se llena el hueco con una arena de densidad conocida que fluye libremente, y se determina el volumen del hueco. Se calcula la densidad húmeda del suelo en el lugar, dividiendo la masa del material húmedo removido por el volumen del hueco. Se determina el contenido de humedad del material extraído del hueco y se calculan su masa seca y su densidad seca in-situ, usando la masa húmeda del suelo, la humedad y el volumen del hueco.

## 3 IMPORTANCIA Y USO

---

- 3.1** Este método de ensayo se usa para determinar la densidad de los suelos compactados utilizados en la construcción de terraplenes, subrasantes, capas inferiores de pavimentos y rellenos estructurales. Se usa con frecuencia como base para la aceptación de suelos compactados a una densidad especificada o a un porcentaje de la densidad máxima determinada por los métodos de ensayo de las normas INV E-141 o INV E-142.
- 3.2** Se puede usar este método de ensayo para determinar, en el sitio, la densidad de depósitos naturales, agregados, mezclas de suelos u otros materiales similares.
- 3.3** El uso de este método de ensayo está limitado, generalmente, a suelos en condición no saturada. No se recomienda utilizarlo con suelos blandos o friables (que se desmoronan fácilmente) o en una condición tan húmeda, que el agua se escurra hacia el hueco excavado para la prueba. En los suelos que se deforman fácilmente o que pueden cambiar de volumen por la vibración generada al excavar el hueco, o simplemente por estar de pie o caminar cerca al hueco durante el ensayo, se puede afectar la exactitud de la prueba (Ver nota 1).

*Nota 1: Cuando el ensayo se realiza en suelos blandos o casi saturados, se pueden producir cambios en el volumen del hueco excavado, como resultado de las cargas superficiales, de la circulación del personal que hace el ensayo y similares. Algunas veces, esto se puede evitar si se usa una plataforma soportada a cierta distancia del hueco. Puesto que no siempre es posible detectar un cambio de volumen, se deben comparar siempre los resultados con la densidad teórica de saturación, o la línea del 100 % de saturación de la curva de compactación del material. Cualquier ensayo de densidad sobre suelos compactados in-situ, en el cual la saturación calculada es superior a 95 %, es dudoso y probablemente ha ocurrido un error, o el volumen del hueco ha cambiado durante el ensayo.*

*Nota 2: No obstante las declaraciones de precisión y desviaciones contenidas en este método de ensayo, la precisión de este método depende de la competencia del personal que hace el ensayo y de la calibración de los equipos y de las instalaciones que se usen.*

## 4 EQUIPO Y MATERIALES

---

**4.1** *Aparato del cono y arena* – El aparato del cono y arena consta de lo siguiente:

- 4.1.1** *Frasco* – U otro recipiente que se pueda utilizar para contener arena, con una capacidad de volumen superior al necesario para llenar el hueco de ensayo y el cono grande que se apoya en la placa de base durante el ensayo. Puede ser de, aproximadamente, 4 litros (1 galón).
- 4.1.2** *Cono* – Un dispositivo desmontable que consiste en una válvula cilíndrica con un orificio de 13 mm ( $\frac{1}{2}$ " ) de diámetro, unida por un lado a un embudo metálico y al frasco y, por el otro, a un embudo grande de metal, que es el cono propiamente dicho. La válvula tendrá topes para evitar su rotación cuando esté en posición de completamente abierta o de completamente cerrada. El dispositivo se construirá con metal suficientemente rígido para evitar la distorsión o el cambio de volumen del cono grande. Las paredes del cono grande formarán un ángulo de unos  $60^\circ$  con la base, para que se llene con arena en forma uniforme.
- 4.1.3** *Placa de base* – Una placa de metal con un orificio central con una pestaña moldeada o maquinada, para recibir el embudo grande (cono) del dispositivo descrito en el numeral 4.1.2. El plato de base puede ser redondo o cuadrado y será, como mínimo, 75 mm (3") más largo que el embudo grande (cono). La placa será plana en el fondo y tendrá suficiente espesor o rigidez para que sea firme. Se pueden usar placas con bordes levantados, lomos u otros refuerzos de, aproximadamente, 10 a 13 mm ( $\frac{3}{8}$ " a  $\frac{1}{2}$ " ) de altura.
- 4.1.4** Los detalles del aparato mostrado en la Figura 161 - 1 representan las dimensiones mínimas adecuadas para ensayar suelos con partículas de tamaño máximo aproximado de 38mm ( $1\frac{1}{2}$ " ) y un volumen del hueco de, aproximadamente,  $2830 \text{ cm}^3$  (0.1 pies<sup>3</sup>). Cuando el material que está siendo ensayado contenga pequeñas cantidades de sobretamaños y partículas aisladas de gran tamaño, se debe cambiar el sitio de ensayo. Se necesitan aparatos y volúmenes de hueco más grandes cuando prevalecen partículas superiores a 38 mm ( $1\frac{1}{2}$ " ). El aparato descrito aquí representa un diseño que ha demostrado ser satisfactorio. Otros aparatos de mayor tamaño u otros diseños con proporciones similares se comportarán igualmente bien, en tanto se observen los principios básicos para la determinación del volumen de la arena. Si el volumen del hueco es mayor de  $2830 \text{ cm}^3$  (0.1 pies<sup>3</sup>), se

deberá usar el Anexo C de la presente norma o la norma de ensayo INV E-165, según corresponda.

- 4.2 Arena** – La arena que se utilice deberá ser limpia, seca, tener densidad y gradación uniformes, no cementada, durable y que fluya libremente. Se puede usar una gradación que presente un coeficiente de uniformidad ( $D_{60} / D_{10}$ ) inferior a 2, un tamaño máximo de partículas menor a 2.0 mm (No. 10) y menos del 3 % en peso menor de 250  $\mu\text{m}$ , (tamiz No. 60). Es necesario que la arena tenga una densidad y una gradación uniformes, para evitar la segregación durante el manejo, el almacenamiento y el uso. Se requiere arena sin finos y sin partículas finas de arena, para evitar cambios significativos de su densidad por las variaciones diarias normales de la humedad atmosférica. Es deseable el uso de arena formada por partículas durables, naturales y de forma redondeada. La arena triturada o con partículas angulares, no fluye libremente y puede crear puentes, dando como resultado la determinación inexacta de la densidad (nota 3). En la selección de la arena de una fuente potencial, se deben determinar su gradación y su densidad para cada recipiente o bolsa de arena. Para que la arena sea aceptable, la variación de densidad, en cualquier determinación, no deberá superar el 1 % del promedio. Antes de usar una arena, se deberá secar y dejar luego en reposo hasta que obtenga la condición de "seca al aire", en la zona en que va a ser usada (nota 4). La arena no se debe reutilizar sin antes remover cualquier material contaminante, sin verificar la gradación, sin secar y sin determinar nuevamente su densidad (nota 5). Además, se deberá verificar la densidad a intervalos no mayores de 14 días; luego de que ocurra un cambio importante de la humedad atmosférica; antes de volver a usarla y antes de emplear un nuevo lote suministrado por un proveedor previamente aprobado (nota 6).

*Nota 3: Algunas arenas provenientes de trituración se han utilizado exitosamente con buena reproducibilidad. La reproducibilidad de resultados de ensayos con arenas angulares se debe verificar en condiciones controladas de laboratorio, antes de utilizarlas.*

*Nota 4: La arena se debe almacenar en áreas secas, protegidas del ambiente. Muchas empresas han encontrado beneficioso almacenarla en recipientes herméticos. También, se ha encontrado conveniente almacenarla cerca de fuentes de calor o de bombillas incandescentes, en zonas de alta humedad.*

*Nota 5: Como regla general, no es aconsejable recuperar la arena después del ensayo.*

*Nota 6: La mayoría de las arenas tienen tendencia a absorber humedad de la atmósfera. Una pequeña cantidad de humedad absorbida puede cambiar sustancialmente la densidad. En zonas de alta humedad o donde la humedad cambia frecuentemente, puede ser necesario determinar la densidad con una frecuencia mayor que los 14 días de intervalo máximo indicado. La necesidad de verificaciones más frecuentes se puede comprobar comparando los resultados de diferentes ensayos de densidad de la arena realizados en las mismas condiciones de uso durante un periodo determinado.*

- 4.3** *Balanza* – Una balanza de capacidad de 20 kg (44 lb) y sensibilidad mínima de 5 g (0.01 lb). Una balanza de estas características resulta adecuada cuando se utiliza el equipo indicado en la Figura 161 - 1.
- 4.4** *Equipo para el secado* – Horno u otro equipo adecuado para secar muestras con el fin de determinar su contenido de humedad.
- 4.5** *Equipo misceláneo* – Una pica pequeña, cinces, destornillador o cucharas para excavar el hueco de ensayo, puntillas grandes o estacas para asegurar la placa de base, recipientes con tapa, bolsas de lona forradas con plástico u otros recipientes adecuados para contener las muestras para la determinación de la densidad y la humedad, así como para guardar la arena empleada en el ensayo; pequeña brocha de pintura, calculadora, cuaderno o formatos de ensayo, etc.

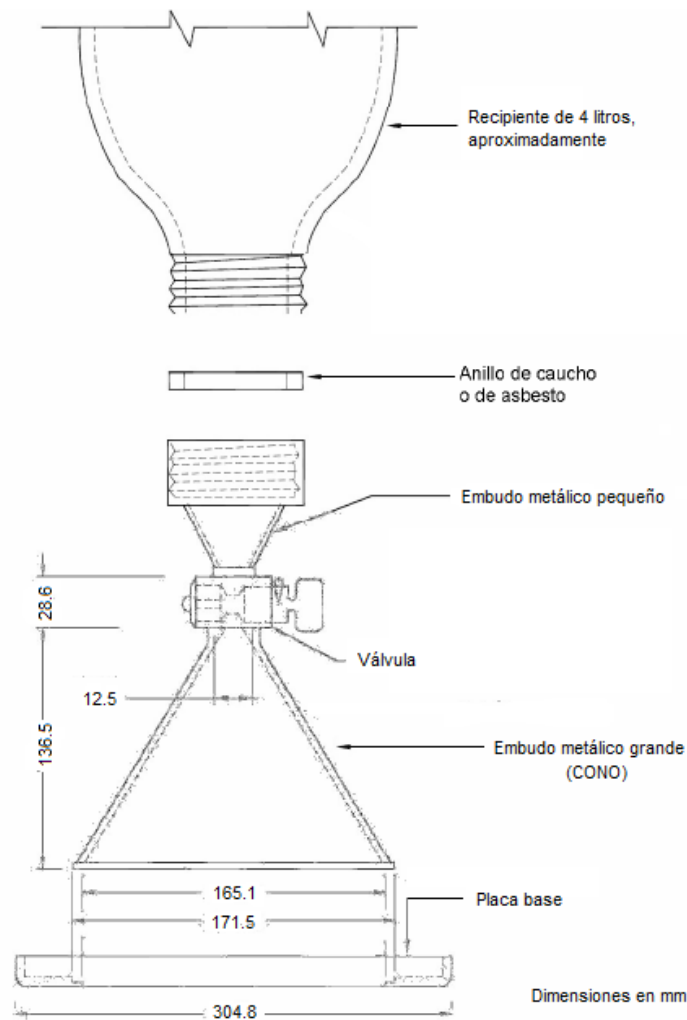


Figura 161 - 1. Aparato para el ensayo del cono y arena

## 5 PROCEDIMIENTO

---

**5.1** Se elige un sitio representativo del área a ser ensayada y se determina la densidad del suelo in- situ, de la siguiente manera:

**5.1.1** Se inspecciona el aparato para verificar que no tenga daños, que la válvula gire libremente y que el plato de base esté bien apoyado. Se llena el aparato con la arena acondicionada, previa determinación de su densidad (Anexo B) y de la constante del cono (Anexo A). Se determina la masa total.

**5.1.2** Se prepara la superficie del sitio de ensayo para que forme un plano nivelado (Figura 161 - 2). Se puede usar la placa de base como herramienta para nivelar la superficie.



Figura 161 - 2. Preparación de la superficie de ensayo

**5.1.3** Se coloca la placa de base sobre la superficie plana, verificando que esté en contacto con la superficie del suelo alrededor del borde de la pestaña del orificio central de la placa. Se marca el contorno de la placa para controlar su movimiento durante el ensayo y, si fuera necesario, se asegura la placa con puntillas enterradas en el perímetro de la placa, o por otro medio, pero sin perturbar el suelo que se va a ensayar.

**5.1.4** Cuando no se pueda nivelar el suelo, o cuando queden vacíos en la superficie, se debe hacer un ensayo preliminar para determinar el volumen limitado horizontalmente por el cono, la placa y la superficie del terreno. Se llena dicho espacio con arena del aparato, se determina la masa que se usa para llenarlo, se vuelve a llenar el aparato y se determina nuevamente la masa inicial del aparato más arena, antes de

continuar con el ensayo. Cuando se complete esta medida, se retira cuidadosamente la arena de la superficie preparada (nota 7).

*Nota 7: Se puede llevar al campo un segundo aparato calibrado cuando se espera esta condición (en vez de volver a llenar y determinar la masa inicial por segunda vez). Se puede usar el procedimiento descrito en la Sección 5.1.4 para cada ensayo, cuando sea deseable la mayor exactitud posible; sin embargo, usualmente no es necesario para la mayoría de los ensayos, donde sea posible obtener una superficie relativamente plana.*

- 5.1.5** El volumen del hueco de ensayo depende del tamaño máximo de las partículas del suelo que se ensaya y del espesor de la capa compactada. Los volúmenes de los huecos de ensayo deben ser tan grandes como sea práctico para reducir errores, y no deberán ser inferiores a los indicados en la Tabla 161 - 1. La profundidad del hueco se debe seleccionar de manera que dé lugar a una muestra representativa del suelo. En los controles de construcción, la profundidad del hueco debe ser, aproximadamente, el espesor de una o más capas compactadas. El procedimiento usado para calibrar la arena debe reflejar esta profundidad del hueco.

Tabla 161 - 1. Volúmenes mínimos del hueco de ensayo de acuerdo con el tamaño máximo de las partículas del suelo a ensayar

TAMAÑO MÁXIMO DE PARTÍCULAS		VOLUMEN MÍNIMO DEL HUECO DE ENSAYO	
mm	pulgadas	cm <sup>3</sup>	pies <sup>3</sup>
12.7	½	1415	0.05
25.4	1	2125	0.075
38.0	1 ½	2830	0.1

- 5.1.6** Se excava el hueco de ensayo a través del orificio central de la placa de base, teniendo cuidado para no alterar o deformar el suelo alrededor del hueco (Figura 161 - 3). Los lados del hueco deberán tener un leve declive hacia adentro y el fondo deberá ser razonablemente plano o cóncavo. El hueco debe quedar tan libre como sea posible de oquedades, partículas sobresalientes y cortes agudos, puesto que pueden afectar la exactitud del ensayo. Los suelos esencialmente granulares requieren un cuidado extremo, pudiendo ser necesario darle al hueco una forma cónica. Se coloca todo el material excavado y cualquier material que se haya aflojado al excavar, en un recipiente hermético, marcado con el número de ensayo para identificación. Se debe tener cuidado para no perder material. Se protege este material contra la pérdida de humedad hasta que se le determine la masa y se haya obtenido una muestra para determinar su humedad.



Figura 161 - 3. Excavación del hueco

- 5.1.7** Se limpia la pestaña del orificio de la placa de base, se invierte el aparato de cono y arena y se coloca el embudo grande (cono) en el orificio rebordeado, en la misma posición marcada durante la calibración (Ver Anexo A). Se eliminan o reducen al mínimo las vibraciones causadas por el personal o los equipos en el área de ensayo. Se abre la válvula y se deja que la arena llene el hueco, el cono y la placa de base (Figura 161 - 4). Es necesario tener cuidado para evitar que el aparato se mueva o vibre cuando la arena esta fluyendo. Cuando la arena deja de fluir, se cierra la válvula.

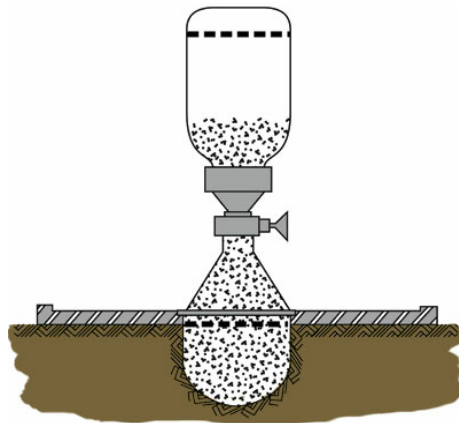


Figura 161 - 4. Llenado del hueco con arena

- 5.1.8** Se determina la masa del aparato con la arena restante, y se calcula la masa de la arena utilizada.
- 5.1.9** Se determina y se registra la masa del material húmedo que se retiró del hueco de ensayo. Cuando sea necesario hacer correcciones por



sobretamaños del material, se determina la masa del material retenido en el tamiz apropiado y se anota. Se debe tener cuidado de evitar que se pierda humedad. Cuando sean necesarias, las correcciones por sobretamaños se harán de acuerdo con la norma INV E-143.

- 5.1.10** Se mezcla completamente el material y se obtiene una muestra representativa para determinar el contenido de humedad o se usa toda la muestra para ello.
- 5.1.11** Se determina el contenido de humedad, de acuerdo con las normas INV E-122, INV E-135 o INV E-150. Es preferible el uso de la norma INV E-122.
- 5.1.12** Las muestras para contenido de humedad deben ser suficientemente grandes y seleccionadas, de manera que representen todo el material extraído del hueco de ensayo. La masa mínima de las muestras tomadas para la determinación del contenido de agua debe ser tal, que permita el cálculo de la humedad con aproximación a 1.0 %.

## 6 CÁLCULOS

---

- 6.1** Los cálculos indicados son para la masa en gramos y los volúmenes en centímetros cúbicos. Se permite el uso de otras unidades, siempre y cuando se apliquen los factores de conversión apropiados para mantener la consistencia de unidades a lo largo de los cálculos.
- 6.2** Se calcula el volumen del hueco de ensayo, de la siguiente manera:

$$V = \frac{M_1 - M_2}{\rho_1} \quad [161.1]$$

- Donde: V: Volumen del hueco de ensayo, cm<sup>3</sup>;
- M<sub>1</sub>: Masa de la arena que se utilizó para llenar el hueco, el cono y la placa de base, g (Ver numeral 5.1.8);
- M<sub>2</sub>: Masa de la arena que se utilizó para llenar conjunto cono + placa de base (constante del cono), g (Ver Anexo A);
- ρ<sub>1</sub>: Densidad de la arena, g/cm<sup>3</sup> (Ver Anexo B).

- 6.3** Se calcula la masa seca del material removido del hueco de ensayo, de la siguiente manera:

$$M_4 = \frac{M_3}{(w + 100)} \times 100 \quad [161.2]$$

- Donde:  $M_4$ : Masa seca del material removido del hueco de ensayo, g;  
 $M_3$ : Masa húmeda del material removido del hueco de ensayo, g;  
 $w$ : Contenido de agua del material removido del hueco de ensayo, % (Ver numeral 5.1.11).

- 6.4** Se calcula la densidad húmeda in-situ del material ensayado ( $\rho_m$ ), con la fórmula:

$$\rho_m = \frac{M_3}{V} \quad [161.3]$$

- 6.5** Se calcula la densidad seca in-situ del material ensayado ( $\rho_d$ ), de la siguiente forma:

$$\rho_d = \frac{M_4}{V} \quad [161.4]$$

*Nota 8: Para expresar las densidades en lb/pie<sup>3</sup>, los valores obtenidos en g/cm<sup>3</sup> se deberán multiplicar por 62.43.*

- 6.6** Se calcula el peso unitario seco en el sitio,  $\gamma_d$ , de la siguiente forma:

$$\gamma_d \text{ (kN/m}^3\text{)} = \rho_d \times 9.807 \quad [161.5]$$

$$\gamma_d \text{ (lbf/pie}^3\text{)} = \rho_d \times 62.43 \quad [161.6]$$

- Donde:  $\rho_d$ : Densidad seca en el sitio, g/cm<sup>3</sup>.

- 6.7** Si se requiere expresar el peso unitario seco en el sitio como porcentaje con respecto a otro peso unitario, por ejemplo, el peso unitario seco máximo

obtenido mediante el ensayo de compactación modificado, norma INV E-142, esta relación se determina dividiendo el peso unitario seco en el sitio por el peso unitario seco máximo y multiplicando por 100.

## 7 INFORME

---

**7.1** El informe debe incluir, como mínimo, lo siguiente:

**7.1.1** Localización del ensayo: abscisa, cota, espesor de la capa ensayada y otros datos pertinentes para ubicar e identificar el ensayo.

**7.1.2** Volumen del hueco de ensayo,  $\text{cm}^3$ .

**7.1.3** Densidad húmeda en el terreno ( $\rho_m$ ),  $\text{g}/\text{cm}^3$ .

**7.1.4** Densidad seca en el terreno ( $\rho_d$ ),  $\text{g}/\text{cm}^3$ .

**7.1.5** Peso unitario seco en el sitio  $\text{kN}/\text{m}^3$  o  $\text{lbf}/\text{pie}^3$ , expresado con aproximación a  $0.1 \text{ kN}/\text{m}^3$  o  $1.0 \text{ lbf}/\text{pie}^3$ .

**7.1.6** Contenido de agua del suelo en el terreno, expresado como un porcentaje de la masa seca, y el método utilizado para determinarlo.

**7.1.7** La identificación del aparato de cono utilizado y su respectiva constante del cono para la arena empleada.

**7.1.8** Densidad de la arena utilizada ( $\rho_1$ ),  $\text{g}/\text{cm}^3$ .

**7.1.9** Descripción visual del suelo o clasificación del material.

**7.1.10** Masa y porcentaje de sobretamaños y el tamiz utilizado para su separación, si éste se usó.

**7.1.11** Observaciones sobre el ensayo, si hay lugar a ello.

**7.1.12** Si se expresan la densidad seca y el peso unitario seco en el terreno como porcentaje de otros valores, se debe incluir lo siguiente:

**7.1.12.1** El método de laboratorio utilizado para determinar la densidad seca máxima de referencia.

**7.1.12.2** La densidad seca máxima o el peso unitario seco máximo usado para la comparación, y el óptimo contenido de agua (humedad) usado.

**7.1.12.3** La corrección por sobretamaños del material y sus detalles, si fuera el caso.

**7.1.12.4** El porcentaje de compactación.

**7.1.13** Si la densidad, el peso unitario o la humedad en el terreno se usan con fines de aceptación o rechazo, se incluye el criterio de aceptación aplicable al ensayo.

## 8 PRECISIÓN Y SESGO

---

**8.1** *Precisión* – Debido a la naturaleza del método de ensayo no se presentan datos sobre precisión. No es factible o resulta muy costoso convocar diez o más laboratorios para que participen en un programa de ensayos en el terreno en un lugar específico para hacer el estudio correspondiente.

**8.2** *Sesgo* – No hay valor de referencia aceptado para este método; por lo tanto, no es posible determinar el sesgo.

## 9 NORMAS DE REFERENCIA

---

ASTM D 1556 – 07

## ANEXO A (Aplicación obligatoria)

### DETERMINACIÓN DE LA CONSTANTE DEL CONO

---

#### A.1 Objeto:

**A.1.1** La constante del cono depende de la densidad de la arena. En consecuencia, se debe hacer esta determinación para cada cono, siempre que se presenten cambios en la densidad y/o en la procedencia de la arena.

#### A.2 Procedimiento de calibración:

**A.2.1** El cono se puede calibrar con uno de los siguientes métodos:

**A.2.1.1 Método A** – Determinando la masa de arena calibrada que puede caber en el conjunto formado por el embudo grande (cono) y la placa de base.

**A.2.1.2 Método B** – Determinando el volumen de arena necesaria para llenar el conjunto de embudo grande (cono) y placa de base y aplicando este volumen constante siempre que se vayan a calcular nuevas densidades de la arena.

**A.2.1.3** Puesto que la masa de la arena contenida en el conjunto conformado por el cono y la placa de base del aparato depende de la densidad de la arena, si se usa el Método A la calibración se debe repetir cada vez que cambie la densidad de la arena.

**A.2.1.4** Todas las determinaciones de masa se deben efectuar con una aproximación a los 5 g más cercanos.

#### A.2.2 Método A:

**A.2.2.1** Se llena el aparato con arena, la cual se debe encontrar seca al aire y preparada en las mismas condiciones en las que se espera usarla durante los ensayos del terreno.

**A.2.2.2** Se determina la masa del aparato lleno con arena, en g.

- A.2.2.3** Se coloca la placa de base sobre una superficie limpia, nivelada y plana. Se invierte el aparato y se coloca sobre el orificio de la placa de base. Se marcan y se identifican el aparato y la placa de base de tal forma que se pueda usar la misma pareja en el terreno, instalándola durante el ensayo en la misma posición.
- A.2.2.4** Se abre la válvula hasta que cese el flujo de arena; durante esta actividad, se debe controlar que el aparato, la placa de base o la superficie plana, no se muevan ni vibren, antes de que se cierre la válvula (Figura 161A - 1).
- A.2.2.5** Se cierra rápidamente la válvula, se retira el aparato y se determina la masa del aparato y arena restante.

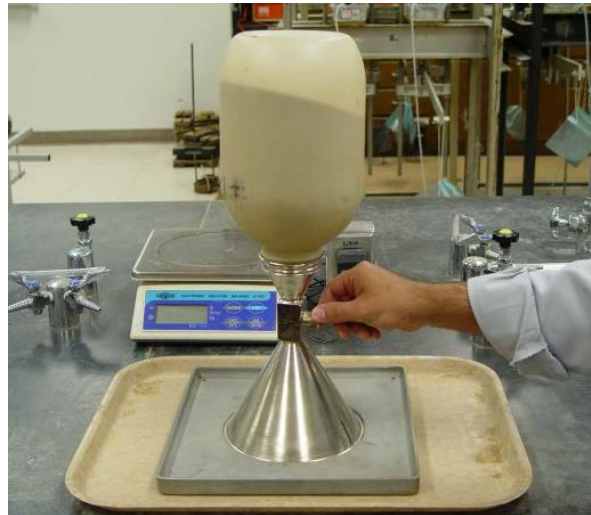


Figura 161A - 1. Determinación de la constante del cono

- A.2.2.6** Se calcula la masa de la arena que se usó para llenar el conjunto de embudo y placa de base, como la diferencia entre la masa inicial (numeral A.2.2.2) y la masa final (numeral A.2.2.5).
- A.2.2.7** Se repite el procedimiento no menos de tres veces. La variación máxima entre cualquiera de las determinaciones y el promedio, no deberá exceder de 1 %. Para los cálculos del volumen del hueco, se usa como “constante del cono” el promedio de las tres determinaciones.

**A.2.3 Método B (Opcional):**

- A.2.3.1** Cuando esté programado un gran número de ensayos y de bultos de arena, puede ser ventajoso determinar el volumen de cada cono y placa de base. Excepto si se daña el aparato o no se hace coincidir bien el cono con la placa de base, este volumen será constante y evitará la repetición del Método A cada vez que cambie la densidad de la arena (Ver nota A.1). Si se escoge esta alternativa, será necesario variar los cálculos en el campo para determinar el volumen de arena en el hueco y en el cono. El volumen del hueco se determinará restando de ese volumen total el volumen del cono más la placa de base.
- A.2.3.2** Se determina la masa de la arena requerida para llenar el conjunto cono + placa de base, de acuerdo con el numeral A.2.2, siguiendo los pasos indicados en los numerales A.2.2.1 a A.2.2. 6, para cada bulto de arena.
- A.2.3.3** Para calcular el volumen del conjunto cono + placa de base, se divide la masa de la arena (hallada como se indica en el numeral A.2.2.6) por la densidad de la arena (determinada como se indica en el Anexo B). Se hacen tres determinaciones, como mínimo, y se calcula el valor promedio. La variación máxima del volumen entre una de las determinaciones y el promedio no deberá exceder a 1 %. Se usa el promedio de estos valores para hacer los cálculos de los ensayos cotidianos.

*Nota A.1: Se debe inspeccionar rutinariamente el aparato de cono y arena para verificar si tiene daños que puedan afectar el volumen del conjunto cono + placa de base. Las abolladuras, las deformaciones de la circunferencia o cualquier otro daño, afectan el volumen y es necesario volver a determinarlo (una vez reparado el daño).*

## ANEXO B (Aplicación obligatoria)

### CALIBRACIÓN DE LA DENSIDAD DE LA ARENA

---

#### B.1 Objeto:

**B.1.1** La calibración determina la densidad promedio de la arena que se utiliza en este método de ensayo, la cual se emplea para calcular los volúmenes de los huecos que se hacen en el terreno.

#### B.2 Equipo:

**B.2.1 Recipiente** – Se selecciona un recipiente de calibración de volumen conocido, aproximadamente del mismo tamaño del hueco que se excava durante el ensayo en campo y que permita que la arena caiga desde una altura similar a la de caída durante la ejecución de los ensayos. Para ello, resultan recomendables los moldes de 944 cm<sup>3</sup> (1/30 pies<sup>3</sup>) y 2124 cm<sup>3</sup> (1/13.33 pies<sup>3</sup>) especificados en las normas INV E-141 e INV E-142. Como alternativa, se pueden usar duplicados fundidos de los huecos de ensayo. Ellos se elaboran formando moldes de los huecos de ensayo con yeso de París, los cuales se usan luego para fundir modelos de concreto de cemento Portland. Luego de fundir el concreto sobre una superficie plana, se retira el molde, se impermeabiliza el modelo y se determina su volumen, de acuerdo con la norma ASTM D 4253.

**B.2.2 Aparato del cono y arena** – Se usa uno del mismo diseño y tamaño de los que se van a usar en el terreno. Se ha encontrado que las características del flujo de arena a través de diferentes ensambles de válvulas dan lugar a diferentes valores de la densidad de la arena. Por lo tanto, se requiere realizar determinaciones de la densidad de la arena para cada juego de elementos, a menos que se tenga certeza de que otros juegos brindan los mismos resultados.

**B.2.3 Balanza** – La misma mencionada en el numeral 4.3 de esta norma.

**B.2.4 Regla metálica** – De unos 50 mm (2") de ancho y de no menos de 3 mm (1/8") de espesor, con una longitud aproximadamente igual a 1.5 veces el diámetro del recipiente de calibración.



**B.3** *Determinación de la densidad bulk de la arena:*

**B.3.1** Se llena de arena el aparato ensamblado. La arena debe estar seca al aire y preparada en la misma condición que se espera durante su uso. Se registra la masa del conjunto.

**B.3.2** Se determina y se registra la masa del recipiente de calibración vacío.

**B.3.3** *Método A (Recomendado):*

**B.3.3.1** Cuando el recipiente de calibración tiene el mismo diámetro del reborde del orificio de la placa de base, se invierten y se centran el aparato lleno de arena y la placa de base en el recipiente de calibración.

**B.3.3.2** Se abre totalmente la válvula y se deja que la arena llene el recipiente. Cuando cese el flujo se cierra la válvula.

**B.3.3.3** Se determina la masa del aparato y la arena restante. Restando este valor del determinado en el numeral B.3.1, se obtiene la masa de la arena usada.

**B.3.3.4** Se calcula la masa neta de la arena en el recipiente de calibración, restando la masa de arena que cabe en el cono y la placa de base (constante del cono) de la masa de arena usada (numeral B.3.3.3). Se anota el valor obtenido.

**B.3.4** *Método B (Opcional):*

**B.3.4.1** Se invierte y se apoya el aparato sobre el recipiente de calibración, de manera que la arena caiga aproximadamente de la misma altura y en el mismo sitio del ensayo de campo y se abre totalmente la válvula.

**B.3.4.2** Se llena el recipiente hasta que rebose y se cierra la válvula. Cuidando de no golpear, sacudir o densificar la arena, se retira cuidadosamente el exceso de arena y se nivela la superficie del recipiente. Cualquier vibración o golpe durante la determinación de la densidad, hará que la arena se compacte y se densifique, y se obtengan resultados erróneos.

**B.3.4.3** Se retira toda la arena de la parte exterior del recipiente de calibración. Se determina la masa del recipiente con la arena. Se registra la masa neta de la arena, restando la masa del recipiente vacío.

**B.3.5** Se determina la densidad por lo menos tres veces y se calcula el promedio. La variación máxima entre cualquiera de las determinaciones y el promedio no deberá exceder de 1 %. Las determinaciones repetidas que no cumplan este requisito indican falta de uniformidad en la densidad de la arena, por lo que se debe volver a evaluar la idoneidad de la fuente de arena. Se usará el valor promedio, para los cálculos de los ensayos de campo.

#### B.4 Cálculos:

**B.4.1** Se calcula la densidad de la arena, de la siguiente manera:

$$\rho_1 = \frac{M_5}{V_1} \quad [161.7]$$

Donde:  $\rho_1$ : Densidad de la arena,  $\text{g}/\text{cm}^3$  (multiplicar por 9.807 para  $\text{kN}/\text{m}^3$  o por 62.43 para  $\text{lbf}/\text{pie}^3$ );

$M_5$ : Masa neta de la arena con la que se llena el molde de calibración, g;

$V_1$ : Volumen del recipiente de calibración,  $\text{cm}^3$ .

## ANEXO C (Aplicación obligatoria)

### DENSIDAD Y PESO UNITARIO EN EL TERRENO EN CAPAS DE SUELO Y SUELO-AGREGADO CON PARTÍCULAS HASTA DE 75 mm (3")

- C.1** Según se indica en el numeral 1.5, cuando los materiales probados contengan cantidades apreciables de partículas mayores a 38 mm (1½"), o cuando se requiera que el volumen de hueco sea superior a 2830 cm<sup>3</sup> (0.1 ft<sup>3</sup>), resultan más apropiados otros métodos de ensayo, como el descrito en la norma INV E-165.
- C.2** La norma INV E-165 establece que los métodos de ensayo incluidos en ella resultan apropiados para huecos de 0.03 a 0.17 m<sup>3</sup> (1 a 6 pies<sup>3</sup>) y que, en general, los materiales ensayados deben tener un tamaño máximo de partícula comprendido entre 75 y 125 mm (3 y 5").
- C.3** En consecuencia con lo indicado en los numerales C.1 y C.2, cuando el material que se ensaya posee una cantidad apreciable de partículas entre 38 y 75 mm (1 ½" y 3") y el orificio tiene entre 0.003 y 0.03 m<sup>3</sup> (0.1 y 1 pie<sup>3</sup>), ni el procedimiento descrito en esta norma ni el descrito en la norma INV E-165 aplican adecuadamente.
- C.4** La alternativa en este caso es la aplicación de la presente norma, con las modificaciones que se deriven del uso de un aparato del cono y arena de mayor capacidad, con un cono cuya base tenga 305 mm (12") de diámetro y que posea una placa de base adaptada, como el que se muestra en la figura C.1.



Figura 161C - 1. Cono para la determinación de la densidad de capas con alto contenido de grava gruesa

**Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente**

## DENSIDAD Y PESO UNITARIO DEL SUELO EN EL TERRENO POR EL MÉTODO DEL BALÓN DE CAUCHO

INV E – 162 – 13

### 1 OBJETO

---

- 1.1** Esta norma se refiere a la determinación en el terreno de la densidad y del peso unitario de un suelo compactado o aglomerado con firmeza, mediante un aparato con una membrana de caucho.
- 1.2** El método es adecuado para realizar medidas destinadas a la aceptación o rechazo de rellenos compactados o terraplenes construidos con suelos finos o suelos granulares, sin cantidades apreciables de roca o de material grueso.
- 1.3** El método se puede usar, también, para determinar la densidad y el peso unitario de suelos inalterados in-situ, siempre y cuando el suelo no se deforme por sí solo bajo las presiones impuestas durante el ensayo.
- 1.4** Este método de ensayo no se debe emplear en suelos orgánicos, saturados o altamente plásticos, que se deformen bajo las presiones aplicadas durante el ensayo. Además, se requiere especial cuidado cuando se pretenda usar en: (1) suelos que contengan materiales granulares sueltos que no mantienen sus paredes estables en excavaciones pequeñas; (2) suelos que contienen una apreciable cantidad de materiales gruesos de tamaño superior a 37.5 mm (1 ½"); (3) suelos granulares con alta relación de vacíos, o (4) rellenos de materiales que contienen partículas con bordes puntiagudos. En el caso de suelos que contienen una apreciable cantidad de materiales gruesos de tamaño superior a 37.5 mm (1 ½"), se deben emplear los métodos descritos en la normas INV E-165 o ASTM D 5030.
- 1.5** Esta norma reemplaza la norma INV E-162-07.

### 2 RESUMEN DEL MÉTODO

---

- 2.1** Se determina el volumen de un agujero excavado en un suelo dado, usando un recipiente calibrado lleno de un líquido con el cual insufla una delgada membrana de caucho flexible, la cual se va desplazando dentro del agujero, tomando su forma hasta que se llena totalmente con el líquido. La densidad húmeda en el sitio se determina dividiendo la masa húmeda del suelo que se

remueve, por el volumen del agujero. El contenido de agua del suelo (humedad) y la densidad húmeda en el sitio se usan para calcular la densidad seca y el peso unitario seco in-situ.

### 3 IMPORTANCIA Y USO

---

- 3.1** Este ensayo se usa para determinar la densidad y el peso unitario en el sitio, de depósitos de suelos naturales inorgánicos, mezclas de suelo - agregado u otros materiales de firmeza similar. Se usa con frecuencia como base para la aceptación de suelos compactados a una densidad especificada o a un porcentaje de la densidad máxima, determinada por los métodos de ensayo de las normas INV E-141 o INV E-142.
- 3.2** Este método se puede utilizar para determinar la densidad de los suelos compactados utilizados en la construcción de terraplenes, subrasantes, capas inferiores de pavimentos y rellenos estructurales. También, se puede usar como base para la aceptación o rechazo de suelos compactados, midiendo en ellos su densidad y su peso unitario y comparándolos con los máximos especificados en las normas de construcción.
- 3.3** El uso de este ensayo está limitado, generalmente, a suelos en condición no saturada y no se recomienda emplearlo en suelos blandos o deformables, ya que ellos experimentan cambios de volumen durante la aplicación de presión en el ensayo. Este ensayo no es apropiado para suelos que contienen fragmentos de roca triturada o materiales que presenten bordes puntiagudos, debido a que ellos pueden pinchar la membrana del balón de caucho, inutilizándola.

### 4 EQUIPO

---

- 4.1** *Aparato del balón de caucho* – Es un cilindro calibrado, que contiene un líquido dentro de una membrana relativamente delgada, flexible y elástica (balón de caucho), diseñada para medir el volumen del hueco del ensayo bajo las condiciones de este método (ver Figura 162 - 1). El aparato deberá estar equipado de manera que se pueda aplicar exteriormente una presión o un vacío parcial al líquido contenido dentro de él. Su peso y su tamaño deberán ser tales, que no se produzca distorsión del hueco excavado ni del área adyacente durante la ejecución del ensayo. El aparato está adaptado para ser usado en conjunto con un manómetro u otro dispositivo que controle la

presión aplicada durante la calibración y los ensayos. Se deberá disponer lo necesario para colocar pesas (sobrecarga) sobre el aparato. La membrana flexible deberá tener tamaño y forma tales, que llene completamente el hueco sin pliegues ni dobleces cuando se infla dentro de él, y tener la suficiente resistencia para aguantar la presión que sea necesaria para asegurar el completo llenado del agujero de ensayo. La membrana será retirada del agujero una vez se haya realizado el ensayo, mediante la aplicación de vacío parcial en el líquido o por otros medios que garanticen una adecuada extracción, sin daños en la misma. Se considera satisfactorio cualquier aparato que emplee una membrana flexible (caucho) y un líquido, y que se pueda utilizar para medir el volumen del agujero en el suelo bajo las condiciones de este ensayo, con una precisión del 1.0 %.

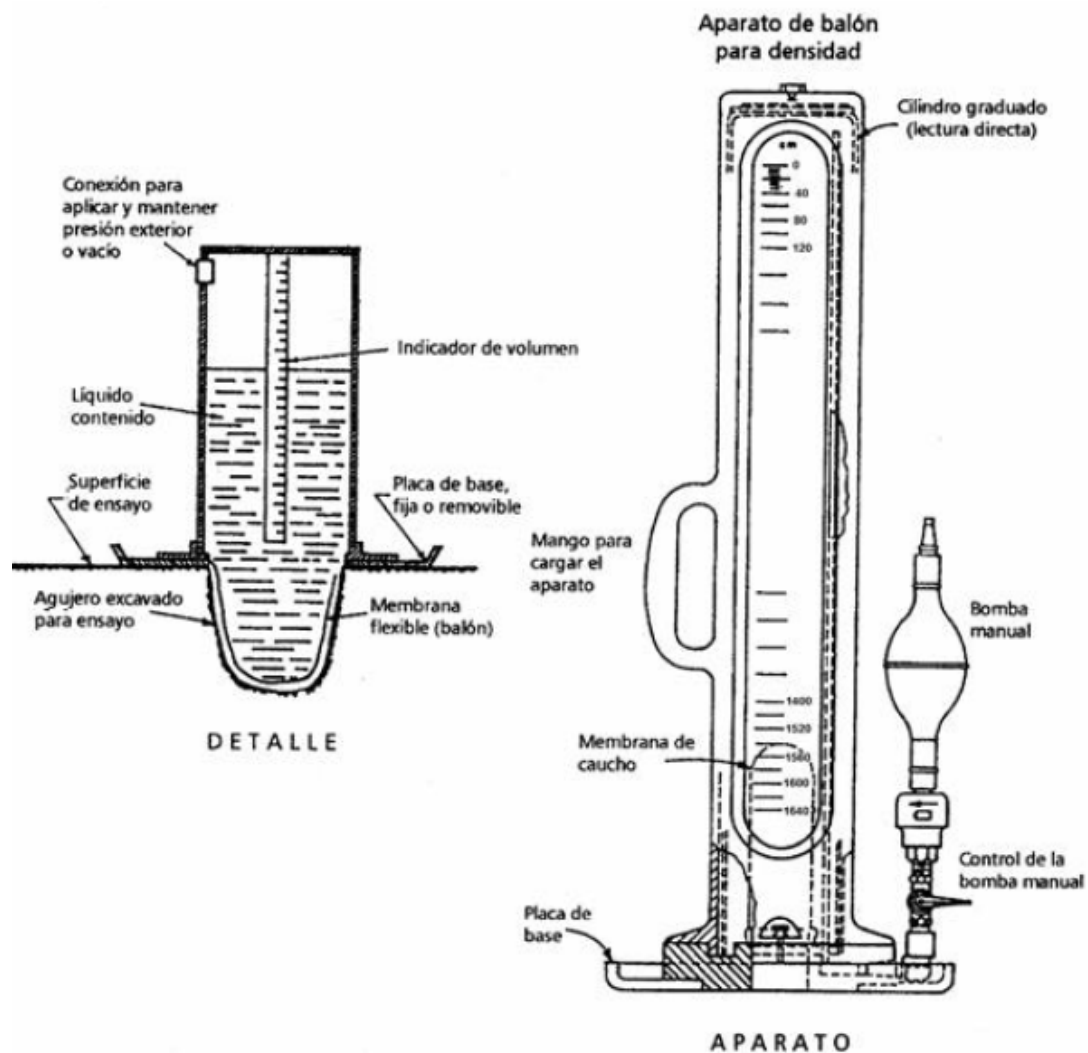


Figura 162 - 1. Balón de caucho para medir la densidad en el terreno

- 4.2** *Placa de base* – Una placa rígida de metal maquinado, que sirva como base del aparato del balón de caucho. Debe tener una dimensión mínima no menor a dos veces el diámetro del agujero, para prevenir la deformación del hueco de ensayo mientras esté soportando al aparato y las pesas de sobrecarga (si se usan).
- 4.3** *Balanzas* – Una balanza de capacidad de 20 kg (44 lb) y legibilidad mínima de 5 g (0.01 lb).
- 4.4** *Horno* – U otro aparato adecuado y satisfactorio para secar suelos y muestras para humedad.
- 4.5** *Equipo misceláneo* – Picas pequeñas, cinceles y cuchara para extracción, bolsas de plástico, cajas con tapa u otros recipientes metálicos adecuados que se puedan cerrar para contener el suelo extraído de los huecos sin que pierdan humedad; pala o pico con borde recto y una regla para alisar la superficie de ensayo; termómetro y brocha pequeña; calculadora para efectuar operaciones y pesas de sobrecarga si se requieren para el aparato de ensayo.

## 5 CALIBRACIÓN

---

- 5.1** Antes del primer uso formal, se debe verificar la precisión del indicador de volumen, midiendo con el aparato recipientes o moldes de volumen conocido, siguiendo el procedimiento indicado en el Anexo A de esta norma.
- 5.2** La calibración del aparato se debe realizar anualmente como mínimo y cada vez que, por daño, reparación o cambio de membrana, se puedan afectar los dispositivos indicadores de presión y volumen.

## 6 PROCEDIMIENTO

---

- 6.1** Se prepara la superficie del terreno en el sitio elegido para el ensayo, de manera que quede razonablemente plana y nivelada. Dependiendo del contenido de agua (humedad) y de la textura del suelo, la superficie puede ser nivelada usando un equipo pesado, equipado con hojas que provean un área de ensayo sin deformaciones ni ondulaciones o irregularidades de cualquier índole.



- 6.2** Se instalan la placa de base y el aparato del balón de caucho en el sitio de ensayo. Empleando la misma presión sobre el líquido en el depósito y el mismo peso de sobrecarga que se usaron en la calibración, se toma y anota una lectura inicial del indicador de volumen. La placa se deberá mantener en su sitio hasta que finalice el ensayo. Luego de efectuada esta lectura inicial sobre el indicador de volumen, se marca el contorno del aparato sobre el sitio elegido para hacer el hueco de ensayo, contorno que debe ser un poco menor que el del orificio de la placa de base
- 6.3** Se retira el aparato del sitio y se excava un hueco centrado dentro del orificio de la placa de base, usando una cuchara o un palustre y otras herramientas necesarias. Se tendrá cuidado al excavar el hueco, de manera que el suelo alrededor del borde superior del mismo no se altere. El volumen del hueco de ensayo depende del tamaño máximo de las partículas del suelo que se ensaya y del espesor de la capa compactada. Los volúmenes de los huecos de ensayo deben ser tan grandes como sea práctico para reducir errores, y no deberán ser inferiores a los indicados en la Tabla 162 - 1. Cuando el material que está siendo ensayado contenga pequeñas cantidades de sobretamaños y partículas aisladas de gran tamaño, se debe cambiar el sitio o el método de ensayo. Se necesitan aparatos y volúmenes de hueco más grandes cuando prevalecen partículas superiores a 38 mm (1½"). Si el volumen del hueco es mayor de 2830 cm<sup>3</sup> (0.1 pies<sup>3</sup>), se deberán usar el anexo A de la norma INV E-161 o la norma de ensayo INV E-165, según corresponda. Las dimensiones del hueco de ensayo están relacionadas con el diseño del aparato y con la presión empleada; en general, estas dimensiones se deberán aproximar a las empleadas en el procedimiento de comprobación de la calibración. El orificio se debe mantener, en cuanto sea posible, libre de baches y de fragmentos puntiagudos, ya que ellos pueden afectar la precisión de las medidas y/o romper la membrana. El suelo removido se coloca en un recipiente cerrado, para determinar posteriormente su masa y su contenido de agua.

Tabla 162 - 1. Volúmenes mínimos del hueco de ensayo de acuerdo con el tamaño máximo de las partículas del suelo a ensayar

TAMAÑO MÁXIMO DE PARTÍCULAS		VOLUMEN MÍNIMO DEL HUECO DE ENSAYO	
mm	pulgadas	cm <sup>3</sup>	pies <sup>3</sup>
12.7	½	1415	0.05
25.4	1	2125	0.075
38.0	1 ½	2830	0.1

- 6.4** Después de excavar el orificio, se coloca el aparato sobre la placa de base, en la misma posición empleada para la lectura inicial. Aplicando la sobrecarga y la presión del líquido en el depósito que se usaron durante el procedimiento de verificación de la calibración, se lee y anota la lectura final del indicador de volumen. La diferencia entre esta lectura final y la inicial obtenida en el numeral 6.2, es el volumen del hueco de ensayo.

*Nota 1: En suelos blandos o débiles y cuando la presión aplicada al líquido en el depósito pueda deformar el hueco de ensayo hasta el punto de dar un volumen errado, se deberá modificar el dispositivo y emplear menos sobrecarga y menos presión sobre el líquido en el depósito o puede ser necesario recurrir a otro método para determinar el peso unitario del suelo.*

- 6.5** Se determina la masa del suelo húmedo extraído del orificio con aproximación a 5 g (0.01 lb). Se mezcla completamente el material y se obtiene una muestra representativa para determinar el contenido de humedad, o se usa toda la muestra para ello.
- 6.6** Se determina el contenido de agua, de acuerdo con las normas INV E-122, INV E-135 o INV E-150. Es preferible el uso de la norma INV E-122. Si había sobretamaños en el material removido del orificio, se deberán realizar las correcciones necesarias, de acuerdo con la norma de ensayo INV E-143.

## 7 CÁLCULOS

---

- 7.1** Se calcula la densidad húmeda in-situ,  $\rho_m$ , del suelo removido del agujero de ensayo, de la siguiente forma:

$$\rho_m = \frac{M_h}{V} \quad [162.1]$$

Donde:  $\rho_m$ : Densidad húmeda in-situ del suelo ensayado, g/cm<sup>3</sup>;

$M_h$ : Masa del suelo húmedo removido del agujero de ensayo, g;

V: Volumen del agujero de ensayo, cm<sup>3</sup>.

*Nota 2: 1 pie<sup>3</sup> = 0.02832 m<sup>3</sup>*

*Nota 3: Se permite el uso de otras unidades, si se provee una adecuada conversión de factores y se mantienen constantes las unidades a través de los cálculos.*

**7.2** Se calcula la densidad seca in-situ,  $\rho_d$ , del suelo removido del agujero de ensayo, de la siguiente forma:

$$\rho_d = \frac{\rho_m}{1 + \frac{w}{100}} \quad [162.2]$$

Donde:  $\rho_d$ : Densidad seca en el sitio,  $\text{g/cm}^3$ ;

$\rho_m$ : Densidad húmeda en el sitio,  $\text{g/cm}^3$ ;

$w$ : Contenido de agua (humedad) del suelo removido del agujero de ensayo, expresado como un porcentaje de la masa seca del suelo, redondeado al 1 %.

**7.3** Se calcula el peso unitario seco en el sitio,  $\gamma_d$ , de la siguiente forma:

$$\gamma_d (\text{kN/m}^3) = \rho_d \times 9.807 \quad [162.3]$$

$$\gamma_d (\text{lbf/pe}^3) = \rho_d \times 62.43 \quad [162.4]$$

Donde:  $\rho_d$ : Densidad seca en el sitio,  $\text{g/cm}^3$ .

**7.4** Si se requiere expresar el peso unitario seco en el sitio como porcentaje con respecto a otro peso unitario, por ejemplo, el peso unitario seco máximo obtenido mediante el ensayo de compactación modificado, norma INV E-142, esta relación se determina dividiendo el peso unitario seco en el sitio por el peso unitario seco máximo y multiplicando por 100.

## 8 INFORME

---

**8.1** El informe deberá incluir:

**8.1.1** Localización y cota del sitio de ensayo.

**8.1.2** Descripción visual del suelo.

**8.1.3** Volumen del hueco de ensayo,  $\text{cm}^3$ .

- 8.1.4** Densidad húmeda en el sitio,  $\text{g/m}^3$ .
- 8.1.5** Peso unitario seco en el sitio  $\text{kN/m}^3$  o  $\text{lbf/pe}^3$ , expresado con aproximación a  $0.1 \text{ kN/m}^3$  o  $1.0 \text{ lbf/pe}^3$ .
- 8.1.6** Contenido de agua del suelo en el sitio, expresado como un porcentaje de la masa seca, indicando el método usado para su determinación.
- 8.1.7** Identificación del aparato y mención de la presión de operación usada.
- 8.1.8** Comentarios pertinentes sobre el ensayo.
- 8.1.9** Si la densidad seca y el peso unitario seco se expresan como porcentaje de otros valores, se debe incluir lo siguiente:
  - 8.1.9.1** Identificación del método de referencia usado.
  - 8.1.9.2** La densidad seca máxima o el peso unitario seco máximo usado para la comparación, y el óptimo contenido de agua (humedad) usado.
  - 8.1.9.3** Corrección por sobretamaños de partículas, si aplica.
  - 8.1.9.4** Si la densidad, el peso unitario y el contenido de agua en el sitio son usados con fines de aceptación o rechazo, indicar los criterios de aceptabilidad aplicables al ensayo.

## 9 PRECISIÓN Y SESGO

---

- 9.1** *Precisión* – No se presentan datos sobre precisión, debido a la naturaleza de este método de ensayo.
  - 9.1.1** Un estudio de laboratorio empleando huecos de poco volumen, indicó que los volúmenes medidos fueron entre 0.24 y 5.3 % menores que los determinados mediante calibración con agua, con la exactitud afectada por el volumen, la forma y la lisura del agujero y la técnica del operario. En un segundo estudio, se halló que volúmenes grandes (10 a 30 litros), presentan un error de 0 a 0.6 % con un promedio de 0.31 %.
  - 9.1.2** Se estima que los resultados de dos ensayos correctamente realizados por un operario experto en un mismo material, en un determinado

tiempo y sitio, no deben diferir, en densidad, más de 1.6 kg/m<sup>3</sup> (1 lb/pie<sup>3</sup>), aproximadamente.

- 9.2** *Sesgo* – No hay valor de referencia para este método de ensayo y, por lo tanto, no se puede determinar el sesgo.

## 10 NORMAS DE REFERENCIA

---

ASTM D 2167 – 08

### ANEXO A (Aplicación obligatoria)

#### CALIBRACIÓN DEL APARATO DEL BALÓN DE CAUCHO

---

**A.1** *Objeto:*

- A.1.1** Este anexo describe el procedimiento para determinar la exactitud de los indicadores de volumen del aparato del balón de caucho. La calibración es necesaria antes del primer uso del aparato, así como después de ser sometido a reparaciones.

**A.2** *Equipo:*

- A.2.1** *Termómetro* – Con precisión de 0.5° C (1° F).
- A.2.2** *Placa de vidrio* – De 6 mm (1/4") de espesor, de tamaño suficiente para cubrir los moldes de calibración.
- A.2.3** *Moldes de calibración* – Recipientes de diferentes volúmenes conocidos, que simulen dimensionalmente los huecos que se hacen el terreno para la ejecución de este ensayo. Sus volúmenes deben ser medidos con una variación no mayor de 1 %, respecto de los valores reales.

**A.3** *Procedimiento de calibración:*

- A.3.1** Se verifica el procedimiento que va a ser empleado y la precisión del indicador de volumen, utilizando el aparato, con el fin de medir moldes

de volúmenes conocidos que simulen dimensionalmente los huecos de ensayo que se van a emplear en el terreno (Nota A.1). El aparato y los procedimientos deberán ser tales, que estos volúmenes se midan con una exactitud de 1.0 %. Se deberán usar recipientes de volúmenes diferentes, de tal manera que la calibración del indicador de volumen cubra el rango previsible de los volúmenes de los huecos de ensayo.

*Nota A.1: Resultan recomendables los moldes de 944 cm<sup>3</sup> (1/30 pies<sup>3</sup>) y 2124 cm<sup>3</sup> (1/13.33 pies<sup>3</sup>) especificados en las normas INV E-141 e INV E-142, para simular los diámetros y volúmenes de los huecos del terreno. Cuando se tienen varios aparatos o se anticipa un uso intensivo, es recomendable hacer duplicados de orificios reales. Ellos se elaboran formando moldes de los huecos de ensayo con yeso de París, los cuales se usan luego para fundir modelos de concreto de cemento Portland. Luego de fundir el concreto sobre una superficie plana, se retira el molde, se impermeabiliza el modelo y se determina su volumen.*

**A.3.2. Determinación del volumen** - Se determina la masa requerida de agua, en gramos, para llenar los recipientes o moldes. Usando la placa de vidrio con una delgada capa de grasa para un mejor sellado, se determina la masa de un recipiente o molde más la placa, redondeada a 1g. Se llena el recipiente o molde con agua y se desliza cuidadosamente la placa de vidrio sobre el borde del molde para asegurarse que el recipiente esté completamente lleno de agua y cuidando de que no queden burbujas de aire atrapadas. Se remueve el exceso de agua y se determina la masa de la placa de vidrio más el agua más el molde, redondeada a 1 g. Se determina la temperatura del agua dentro del recipiente. Se calcula el volumen del molde, como se indica en el numeral A.3.4. Se repite este procedimiento con cada recipiente o molde, hasta que se tengan tres valores del volumen de cada recipiente o molde, con una variación máxima de 0.00283 dm<sup>3</sup> (0.0001 pies<sup>3</sup>). Se calcula el promedio de las tres determinaciones de cada molde o recipiente ( $V_T$ ).

**A.3.3 Ensayos para verificar la calibración** – Se coloca el aparato del balón de caucho lleno de agua y la placa de base sobre una superficie horizontal lisa. Se aplica una presión de operación y se hace una lectura inicial en el indicador de volumen (nota A.2). Se transfiere el aparato a uno de los recipientes o moldes previamente calibrados, colocado sobre una superficie firme y horizontal. Se aplica la presión de operación necesaria hasta que no se advierta ningún cambio en el indicador de volumen. Según el tipo de aparato, esta presión puede llegar a ser tan alta como de 34.5 kPa (5 lbf/pg<sup>2</sup>). Puede ser necesario colocarle una sobrecarga al aparato para evitar que se levante (nota A.3). Se anotan las lecturas, presiones y pesas de sobrecarga usadas. La diferencia entre la lectura inicial y la lectura final del indicador de volumen será el

volumen del molde. Se repite el procedimiento para otros recipientes. Una verificación satisfactoria de la calibración del aparato se logra cuando la diferencia entre lo indicado y el volumen calibrado del molde es del 1 % o menor, para todos los volúmenes medidos. Se selecciona la presión de operación óptima y se anota para su uso con el aparato durante las operaciones rutinarias de ensayo.

*Nota A.2: Antes de realizar cualquier medida, es necesario dilatar el balón de caucho y, mediante amasado, remover las burbujas de aire adheridas al interior de la membrana. Si los moldes de calibración son herméticos, puede ser necesario proporcionar un escape de aire para prevenir resultados erróneos causados por la retención de aire en la membrana. Un medio de facilitar este escape de aire consiste en colocar cuerdas de poco diámetro sobre el borde y que desciendan hacia el interior hasta algo más allá del centro del fondo del molde. Esto permite que el aire atrapado escape durante la medida del molde o recipiente calibrado.*

*Nota A.3: Se recomienda mantener la presión de operación del aparato tan baja como sea posible, siempre y cuando se mantenga el 1% de exactitud en el volumen. El uso de presiones mayores que la necesaria puede requerir el empleo de sobrecargas adicionales para impedir que el aparato se levante. Sin embargo, la combinación de la presión aplicada y las sobrecargas puede llegar a producir una presión insoportable para el suelo en vecindades del hueco, causando su deformación.*

#### A.3.4 Se calcula el volumen de calibración de los moldes como sigue:

$$V = (M_2 - M_1) \times V_w \quad [162.5]$$

Donde: V: Volumen del molde, ml;

M<sub>2</sub>: Masa del molde o recipiente más la placa de vidrio más agua, g;

M<sub>1</sub>: Masa del molde o recipiente más la placa de vidrio, g;

V<sub>w</sub>: Volumen del agua por unidad de masa, dependiente de la temperatura (Tabla 162A - 1), cm<sup>3</sup>/g.

Tabla 162A - 1. Volumen de agua por gramo según la temperatura

TEMPERATURA		VOLUMEN DE AGUA (ml/g)
° C	° F	
12	53.6	1.00048
14	57.3	1.00073
16	60.8	1.00103
18	64.4	1.00138
20	68.0	1.00177
22	71.6	0.00221
24	75.2	1.00268
26	78.8	1.00320
28	82.4	1.00375
30	86.0	1.00435
32	89.6	1.00497



# DETERMINACIÓN RÁPIDA DEL PORCENTAJE DE COMPACTACIÓN

INV E – 163 – 13

## 1 OBJETO

---

- 1.1** Esta norma describe el procedimiento para determinar rápidamente el porcentaje de compactación y la variación del contenido de humedad con respecto al óptimo de un suelo in-situ, para uso en el control de la compactación de suelos. Estos valores se obtienen desarrollando una curva de compactación de tres puntos con el mismo contenido de agua que tiene el suelo in-situ, sin que se conozca el valor del contenido de humedad. El suelo usado para la curva de compactación es, normalmente, el mismo suelo retirado de la prueba de densidad en el terreno. En el desarrollo de este documento, se aludirá a este método de ensayo como el *método rápido*.
- 1.2** Este método de ensayo se ejecuta, normalmente, sobre suelos que contienen más de 15 % de finos (que pasen el tamiz No. 200).
- 1.3** Cuando se encuentran partículas de tamaño de grava en el suelo que va a ser ensayado, este método se limita a una comparación de la densidad del material in-situ de la fracción que pasa el tamiz No. 4 con una prueba de compactación de laboratorio de material que pasa el tamiz No. 4 (método A de la norma INV E-141). Sujeto a las limitaciones de la norma INV E-143, este método es también aplicable para comparaciones de fracciones de otros tamaños de tamiz (por ejemplo, el método C de la norma INV E-141) u otras energías de compactación (por ejemplo, los métodos de la norma INV E-142), si se han determinado nuevos valores corregidos de la humedad.
- 1.4** Esta norma reemplaza la norma INV E-163-07.

## 2 TERMINOLOGÍA

---

### 2.1 *Definiciones de términos específicos de esta norma:*

- 2.1.1** *Agua añadida, z* – Cantidad de agua, expresada como porcentaje, la cual se añade al suelo húmedo antes de compactar un espécimen con el método rápido. Si el contenido de agua del suelo húmedo se

disminuye, la cantidad de agua añadida es un número negativo (por ejemplo, - 2.0 %).

- 2.1.2** *Valor C* – Relación, expresada como porcentaje, entre la densidad húmeda in-situ al contenido de humedad de campo y la densidad húmeda de un espécimen compactado en laboratorio, preparado con esa humedad. El valor C es una comparación entre el esfuerzo de compactación de los equipos de compactación en terreno y el esfuerzo normal de compactación en el laboratorio.
- 2.1.3** *Curva de compactación al contenido de agua del terreno* –Dibujo que muestra la relación entre la densidad húmeda al contenido de agua del terreno (densidad húmeda convertida) y el porcentaje de “agua añadida”.
- 2.1.4** *Densidad húmeda convertida,  $\rho_{húmeda, c}$*  – Densidad húmeda de un espécimen compactado, después de haber sido convertida (ajustada por cantidad de “agua añadida”) a la densidad húmeda al contenido de agua del terreno.
- 2.1.5** *Valor D* – Relación, expresada como porcentaje, entre la densidad húmeda in-situ al contenido de agua del terreno, y la densidad húmeda máxima de laboratorio según una curva de compactación desarrollada a ese mismo contenido de agua, tal como lo establece el método rápido. El valor D es, en el método rápido, el equivalente al porcentaje de compactación.
- 2.1.6** *Contenido de agua del terreno,  $w_f$*  – Contenido de agua de la fracción del suelo in-situ que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4).
- 2.1.7** *Densidad húmeda del terreno,  $\rho_{húmeda, f}$*  – Densidad húmeda, tal como se determina por la prueba de densidad en el terreno.
- 2.1.8** *Densidad húmeda máxima al contenido de agua del terreno,  $\rho_m$*  – Densidad húmeda definida por el punto máximo de curva de compactación en el laboratorio, al contenido de agua del terreno.
- 2.1.9**  *$(w_f - w_o)$*  – Expresión que indica la diferencia entre la humedad in-situ y la humedad óptima determinada por el método rápido.

### 3 RESUMEN DEL MÉTODO

---

- 3.1** Se obtiene una muestra representativa del suelo en conjunto con la ejecución del ensayo de densidad en el terreno, según las normas INV E-161, INV E-162 ó INV E-164. Se compactan especímenes de suelo de acuerdo con el método de la norma INV E-141. Se compactan por lo menos tres especímenes, el primero con la humedad del terreno (in-situ), y cada uno de los restantes con diferentes contenidos de humedad. Se asume que los tres puntos de compactación definen una curva parabólica, y el punto máximo de la curva se determina matemáticamente. Se determina la relación entre la densidad húmeda in-situ al contenido de humedad de campo y la densidad húmeda máxima de laboratorio. Se determina una aproximación de la diferencia entre el contenido de humedad óptimo y el contenido de humedad en campo. Después de que se determina la humedad real del suelo por secado en el horno (usualmente al día siguiente), se calculan las densidades secas, los pesos unitarios y la humedad óptima.

### 4 IMPORTANCIA Y USO

---

- 4.1** El método rápido se ejecuta para evaluar, de manera rápida, el porcentaje de compactación y la variación de la humedad respecto de la óptima, de suelos empleados en construcción, sin conocer el valor del contenido de humedad del terreno en el momento de la prueba.
- 4.1.1** Los resultados de las pruebas se obtienen, generalmente, tras 1 o 2 horas de comenzadas.
- 4.1.2** El valor del porcentaje de compactación obtenido empleando el método rápido será igual al porcentaje de compactación calculado usando valores de densidad seca.
- 4.1.3** El valor de la diferencia entre el contenido de humedad del terreno y el contenido óptimo de humedad será aproximado, pero estará entre  $\pm 0.1$  a  $0.2$  puntos porcentuales de la diferencia calculada una vez conocido el contenido real de humedad del terreno.
- 4.2** Los resultados de las pruebas se pueden emplear para determinar si el material compactado satisface los valores de control de densidad y de humedad que se especifican como porcentaje de una densidad máxima normalizada y el contenido de humedad óptimo, tal como se determina en el

método A de la norma INV E-141. Se usa una curva de compactación de tres puntos, en lugar de la curva de cuatro o cinco puntos requeridos en los métodos de prueba de la norma INV E-141.

- 4.3** Este método de ensayo se basa en el supuesto de que una curva de compactación de tres puntos es una parábola en la sección de la curva cercana al contenido de humedad óptimo, de manera que el punto máximo de la curva se puede determinar matemáticamente. Esta suposición constituye la mayor diferencia entre éste método de ensayo y la obtención de la densidad máxima y el contenido óptimo de humedad mediante una curva completa de compactación de cinco puntos.
- 4.4** Una vez determinada la humedad del terreno por secado al horno, se podrán calcular los valores de densidad seca, peso unitario seco, y contenido óptimo de humedad (nota 1).
- 4.5** Este método de prueba también se puede emplear para cimientos o para materiales de préstamo, para comparar la densidad seca in-situ, el peso unitario y el contenido de agua, con la densidad seca y el peso unitario máximos de laboratorio y el contenido óptimo de humedad.
- 4.6** Este método de ensayo tiene la ventaja de que el valor de la densidad máxima se puede obtener sobre el mismo suelo excavado durante la ejecución del ensayo de densidad en el terreno.

*Nota 1: Puesto que no hay necesidad de determinar inmediatamente los contenidos de agua del material de la prueba de densidad in-situ o los puntos de compactación de laboratorio, no es necesario el uso de determinaciones rápidas de humedad, tales como microondas, calor directo, nuclear, etc. Sin embargo, si se desea, se pueden determinar el porcentaje de compactación y la variación del contenido de agua respecto del óptimo, usando valores de densidad seca basados en métodos rápidos de prueba para la determinación de la humedad. El uso de tres puntos de compactación y la determinación matemática de la densidad máxima, continúan siendo aplicables. Sin embargo, los métodos rápidos de determinación de la humedad pueden arrojar resultados diferentes de los valores aceptados para el contenido de humedad seca al horno, lo que alargaría el tiempo de ejecución de esta prueba.*

## 5 INTERFERENCIAS

---

- 5.1** Los valores de ajuste de la humedad se obtuvieron a partir de valores promedio de la densidad y de la humedad óptima sobre un gran número de muestras que solo contenían partículas menores de 4.75 mm. El suelo que se ensaye se deberá comparar con la información que presenta el Anexo B. Para suelos que posean unas propiedades significativamente diferentes, los valores

de ajuste de la humedad pueden resultar inaplicables. En este caso, se deben establecer nuevos valores de ajuste para ese suelo (Ver Anexo B).

- 5.2** Para muestras cuya humedad se encuentre muy alejada de la óptima (+ 6.0%, - 4.0%), los valores ( $w_f - w_o$ ) son menos exactos.

## 6 EQUIPO

---

- 6.1** *Equipo para determinar la densidad in-situ, como lo requiere este método de prueba.*
- 6.2** *Equipo para la preparación de especímenes compactados en laboratorio de acuerdo con el método A de la norma INV E-141.*
- 6.3** *Probeta graduada – De 100 ml de capacidad, graduada al ml.*
- 6.4** *Mezcladora – Eléctrica, de mesa, 3 velocidades, 1/3-hp, 60 ciclos, motor de 115 v, o cualquier otro aparato apropiado para mezclar el suelo con agua.*
- 6.5** *Ventilador eléctrico – O cualquier aparato secador.*
- 6.6** *Tamiz – De 4.75 mm (No. 4).*
- 6.7** *Elementos misceláneos – Brochas, cuchillo, recipientes para mezclar, cuchara, etc., para mezclar o desbastar especímenes de suelo; balde o cubo con tapa, o cualquier otro recipiente apropiado para guardar la muestra de ensayo.*

## 7 REACTIVOS Y MATERIALES

---

- 7.1** Para humedecer el suelo antes de su compactación, se debe usar agua potable libre de ácidos, álcalis y aceites.

## 8 RIESGOS

---

- 8.1** *Riesgos de seguridad – Aunque no hay riesgos de seguridad relacionados con este método, hay precauciones de seguridad en los ensayos de referencia que le son aplicables.*

- 8.2** *Riesgos técnicos* – Los especímenes de prueba se deben preparar y compactar tan pronto como sea posible, para minimizar pérdidas de humedad. Si la prueba no se lleva a cabo inmediatamente, la muestra se debe guardar en un recipiente hermético para prevenir la pérdida de humedad. Se recomienda determinar la humedad antes y después del almacenamiento de la muestra.

## 9 CALIBRACIÓN Y NORMALIZACIÓN

---

- 9.1** Se debe verificar que el equipo usado en conjunto con este procedimiento se encuentre calibrado de acuerdo con el procedimiento aplicable. Si la calibración no está actualizada, se deberá realizar antes de usar el equipo para este ensayo.

## 10 PROCEDIMIENTO

---

- 10.1** El procedimiento para la ejecución de este método de ensayo está dividido en cuatro secciones, como sigue:

**10.1.1** Se obtiene la densidad *in situ*.

**10.1.2** Se compactan los especímenes y se obtiene la curva de compactación.

**10.1.3** Se determina el punto máximo de la curva de compactación, el valor  $D$  y  $(w_f - w_o)$ .

**10.1.4** Se completa la prueba para anotar en el registro.

*Nota 2: Puesto que los cálculos constituyen parte integral del procedimiento, ellos se incluyen en las secciones respectivas del procedimiento.*

### OBTENCIÓN DE LA DENSIDAD IN-SITU

- 10.2** Se hará la prueba para determinar la densidad húmeda in-situ, de acuerdo con las normas INV E-161, INV E-162 o INV E-164. Si el suelo que está siendo ensayado contiene grava, se debe determinar la densidad húmeda in-situ de la fracción de suelo que pasa el tamiz 4.75 mm (No. 4), de acuerdo con la norma INV E-143.

- 10.3** El suelo usado para determinar la curva de compactación, es el material excavado durante la prueba de densidad in-situ. A pesar de que para la ejecución de esta prueba se requiere una muestra mínima de 7 kg de material que pasa el tamiz 4.75 mm (No. 4), se recomienda una muestra de, por lo menos, 12 kg. La cantidad de muestra real dependerá del porcentaje de partículas que queden retenidas en el tamiz No. 4, y si el suelo está muy húmedo o seco respecto del contenido óptimo de humedad.
- 10.3.1** Si la densidad in-situ es obtenida usando la norma INV E-164 (Método nuclear), se debe obtener una muestra representativa del suelo que se está ensayando.
- 10.3.2** Si no se obtiene suficiente material de la excavación que se hace para la prueba de densidad in-situ, se debe obtener suelo adicional de los alrededores de la excavación. El material adicional debe ser representativo del suelo ensayado para obtener la densidad in-situ.
- 10.3.2.1** Si la prueba de densidad in-situ debe representar el espesor total de la capa compactada, el material adicional que se deba obtener se tomará solamente de esta misma capa.
- 10.3.2.2** Si la excavación para la prueba de densidad in-situ se ha contaminado con arena o ha sido humedecida (como puede acontecer al efectuar los ensayos de cono y arena o de reemplazo de agua), el material adicional se debe obtener excavando suelo que no haya sido afectado, lo más cerca posible de la excavación original.
- 10.4** El suelo obtenido de la prueba de densidad in-situ se deberá pasar a través del tamiz 4.75 mm (No. 4).
- 10.5** Se mezcla completamente el material que pasa el tamiz 4.75 mm (No. 4), para asegurar una distribución uniforme de la humedad en todo el suelo. La mezcla se debe hacer tan pronto como sea posible, para evitar pérdida de humedad.
- 10.6** Se determina el contenido de agua de un espécimen representativo, de acuerdo con la norma INV E-122.
- 10.7** El material pasante por el tamiz No. 4 se debe mantener en un recipiente tapado herméticamente, para evitar la pérdida de humedad.

## COMPACTACIÓN DE ESPÉCIMENES Y OBTENCIÓN DE LA CURVA DE COMPACTACIÓN

**10.8** Se compacta un espécimen del material que pasa el tamiz 4.75 mm (No. 4), con el contenido de humedad del terreno, de acuerdo con el método A de la norma INV E-141 y se calcula la densidad húmeda del espécimen.

**10.8.1** La densidad húmeda del primer espécimen compactado se identifica como “densidad húmeda del primer espécimen” o  $\rho_{\text{húmeda, primera}}$ .

**10.9** Al llegar a este punto, se calcula el valor C, el cual se determina antes de proseguir, porque si es menor que el valor D (porcentaje de compactación) requerido en las especificaciones, ello significa que la densidad in-situ ha fallado en el cumplimiento de las especificaciones. El valor D obtenido por el método rápido de prueba debe ser siempre igual o menor que el valor C.

**10.9.1** Se calcula y anota el valor C, en porcentaje, de la siguiente manera:

$$\text{Valor C} = \frac{\rho_{\text{húmeda, f}}}{\rho_{\text{húmeda, primera}}} \times 100 \quad [163.1]$$

Donde: Valor C: Comparación del esfuerzo de compactación de terreno con el esfuerzo de compactación normalizado en laboratorio, %;

$\rho_{\text{húmeda, f}}$ : Densidad húmeda de la prueba de densidad in-situ, Mg/m<sup>3</sup> (lb/pie<sup>3</sup>);

$\rho_{\text{húmeda, primera}}$ : Densidad húmeda del primer espécimen, Mg/m<sup>3</sup> (lb/pie<sup>3</sup>).

**10.10** Se prepara un segundo espécimen para compactar, con un 2 % de agua añadida. Este espécimen de compactación se identifica como el “segundo espécimen”.

*Nota 3: Este método de ensayo especifica que el segundo espécimen debe tener siempre 2 % de agua añadida. Cuando la densidad in-situ es extremadamente húmeda teniendo en cuenta el contenido óptimo de humedad, el segundo espécimen puede ser un espécimen al que se le ha removido agua, y la prueba se completa siguiendo los principios discutidos en este método de ensayo.*

**10.10.1** Se colocan 2.50 kg de suelo de la muestra original en un recipiente para mezclar.



**10.10.2** Se miden exactamente 50 ml de agua. Esta cantidad de agua aumentará la humedad del suelo aproximadamente 2.0 %. Esto se identifica como “2 % de agua añadida (+ 2.0)”. A pesar de que se puede usar cualquier incremento de humedad de 1 % o más, el procedimiento está escrito considerando un incremento de 2.0 %.

**10.10.3** Se mezcla el suelo completamente mientras se le rocía el agua para asegurar una distribución homogénea de la humedad en todo el material. La mezcla se debe ejecutar tan rápido como sea posible, para evitar pérdida de humedad. Se cubre el recipiente con una bolsa de plástico, toallas húmedas o cualquier otra protección.

**10.10.4** Se compacta el espécimen y se calcula la densidad húmeda, de acuerdo con los métodos de la norma INV E-141.

**10.10.5** Se calcula y anota la densidad húmeda convertida (densidad al contenido de humedad del terreno) del espécimen, de la siguiente manera:

$$\rho_{\text{húmeda, c}} = \frac{\rho_{\text{húmeda}}}{1 + \frac{z}{100}} \quad [163.2]$$

Donde:  $\rho_{\text{húmeda, c}}$ : Densidad húmeda convertida del espécimen compactado, Mg/m<sup>3</sup> (lb/pe<sup>3</sup>);

$\rho_{\text{húmeda}}$ : Densidad húmeda de espécimen compactado, Mg/m<sup>3</sup> (lb/pe<sup>3</sup>);

z: Cantidad de agua añadida al suelo antes de compactar el espécimen, %.

**10.11** Se prepara el tercer espécimen, añadiendo o sustrayendo agua.

**10.11.1** Antes de compactar el tercer espécimen, se comparan las densidades húmedas de los especímenes uno y dos. Si la densidad húmeda convertida del segundo espécimen es mayor o igual que la densidad húmeda del primer espécimen se debe seguir con lo indicado en el numeral 10.11.2. Si la densidad húmeda convertida del segundo espécimen es menor que la densidad húmeda del primer espécimen, se debe seguir con lo indicado en el numeral 10.11.4.

**10.11.1.1** Si la densidad húmeda convertida del segundo espécimen es menor que la densidad húmeda del primer espécimen, y la diferencia no es mayor de  $0.05 \text{ Mg/m}^3$  ( $3 \text{ lb/pie}^3$ ); se puede eliminar el requerimiento de secar el suelo (numeral 10.11.4).

**10.11.2** Se prepara el tercer espécimen añadiendo agua.

**10.11.2.1** Se colocan 2.50 kg de suelo de la muestra original en un recipiente para mezclar.

**10.11.2.2** Se miden 100 ml de agua. Esta cantidad de agua aumentará la humedad del suelo en, aproximadamente, 4 %. Esto se identifica como "4% de agua añadida (+ 4.0)".

**10.11.2.3** Se mezcla el suelo completamente mientras se le rocía el agua para asegurar una distribución homogénea de la humedad en todo el material. La mezcla se debe ejecutar tan rápido como sea posible para evitar pérdida de humedad. Se cubre el recipiente con una bolsa de plástico, toallas húmedas o cualquier otra protección.

**10.11.2.4** Se compacta el espécimen y se calcula su densidad húmeda de acuerdo con la norma INV E-141.

**10.11.2.5** Se calcula y anota la densidad húmeda convertida, de acuerdo con lo indicado en el numeral 10.10.5.

**10.11.2.6** Si la densidad húmeda convertida del tercer espécimen es menor o igual que la del segundo espécimen, se debe proceder como se indica en el numeral 10.12. Si la densidad húmeda convertida del tercer espécimen es mayor que la del segundo espécimen, se debe compactar un espécimen adicional de acuerdo con el numeral 10.11.3.

**10.11.3** Se prepara (n) el (los) espécimen(es) adicional(es) añadiendo agua.

**10.11.3.1** Se repiten los pasos 10.11.2.1 a 10.11.2.5, excepto que el incremento en las cantidades de agua añadida será

2v% mayor que el del espécimen anterior, (esto es, + 6 %, + 8 %, etc.). Antes de compactarlo con un porcentaje cualquiera de agua añadida mayor de 6 %, el material se deberá volver a tamizar a través del tamiz 4.75 mm (No. 4). El retamizado permite romper cualquier grumo de suelo y ayuda a homogeneizar la humedad.

**10.11.3.2** Se repite el paso 10.11.3.1, hasta que la densidad húmeda convertida del espécimen actual sea menor o igual que la densidad húmeda corregida del espécimen previo. Luego, se continúa con el paso 10.12.

**10.11.4** Se prepara un tercer espécimen disminuyendo la humedad.

**10.11.4.1** Se colocan 2.50 kg de suelo de la muestra original en un recipiente para mezclar.

**10.11.4.2** Se seca el suelo hasta que alcance una pérdida de 50 g de masa. Esta pérdida de agua corresponde a un decremento en el contenido de humedad del suelo de, aproximadamente, 2 %. Esto se identifica como “menos 2 % de agua añadida (- 2.0)”. El suelo se mezcla completamente después del secado.

*Nota 4: El espécimen de suelo se puede secar bastante rápido (5 a 10 minutos), utilizando un ventilador, un secador de pelo u otro equipo de chorro de aire, haciendo circular el aire de un lado a otro en la bandeja que contiene el suelo, mientras se mezcla con suavidad. En climas húmedos se pueden requerir otros métodos de secado rápido. Si se aplica calor, el suelo debe alcanzar la temperatura ambiente antes de ser compactado. Se debe tener en cuenta la pérdida de humedad durante el enfriamiento.*

**10.11.4.3** Se compacta el espécimen y se calcula su densidad húmeda, de acuerdo con la norma INV E-141.

**10.11.4.4** Se calcula y anota la densidad húmeda convertida, de acuerdo con el numeral 10.10.5. Cuando al suelo se le ha disminuido la humedad, el valor de “agua añadida”,  $z$ , utilizado en el cálculo de densidad húmeda convertida, es un número negativo (esto es,  $z = - 2.0$  %).

**10.11.4.5** Si la densidad húmeda convertida del tercer espécimen es menor o igual que la densidad húmeda del primer espécimen, se procede como se indica en el numeral 10.12. Si la densidad húmeda convertida del tercer espécimen es mayor que la densidad húmeda del primer espécimen, se debe compactar un espécimen adicional de acuerdo con el numeral 10.11.5.

**10.11.5** Se prepara(n) un(os) espécimen(es) adicional(es) disminuyendo la humedad.

**10.11.5.1** Se repiten los pasos 10.11.4.1 a 10.11.4.4, excepto que el decremento en las cantidades de agua añadida será 2 % mayor que el del espécimen anterior, (esto es, - 4 %). Antes de compactarlo con 4 % o más de agua sustraída, el material se deberá mezclar completamente y volver a pasar a través del tamiz 4.75mm (No. 4). El retamizado permite romper cualquier grumo de suelo y ayuda a homogeneizar la humedad.

**10.11.5.2** Se repite el paso 10.11.5.1, hasta que la densidad húmeda convertida del espécimen actual sea menor o igual que la del espécimen previo.

### **DETERMINACIÓN DEL PUNTO MÁXIMO DE LA CURVA DE COMPACTACIÓN, DEL VALOR D Y DEL VALOR ( $w_f - w_0$ )**

**10.12** Los puntos de los tres especímenes de compactación se designan como Puntos A, B y C, en orden, iniciando con el espécimen de menor cantidad de agua añadida (el más seco). Si se compactan más de tres especímenes, el espécimen con la densidad húmeda convertida más alta se designa como Punto B; se selecciona el espécimen que tenga 2 % menos de agua añadida que el Punto B y se designa como Punto A; se selecciona el espécimen que tenga 2 % más de agua añadida que el Punto B y se designa como punto C. (Ver Figura 163 - 1).

*Nota 5: Por facilidad, todos los especímenes de compactación serán relacionados como convertidos (convertidos a densidad al contenido de humedad de campo), aunque el primer espécimen fue compactado al contenido de humedad de campo y, por lo tanto, no fue convertido.*

*Nota 6: En aquellos pocos casos donde la densidad del punto A y la del punto B sean iguales, los puntos deben ser designados A, C, B y no como A, B, C. La nota 7 no será válida para este caso.*

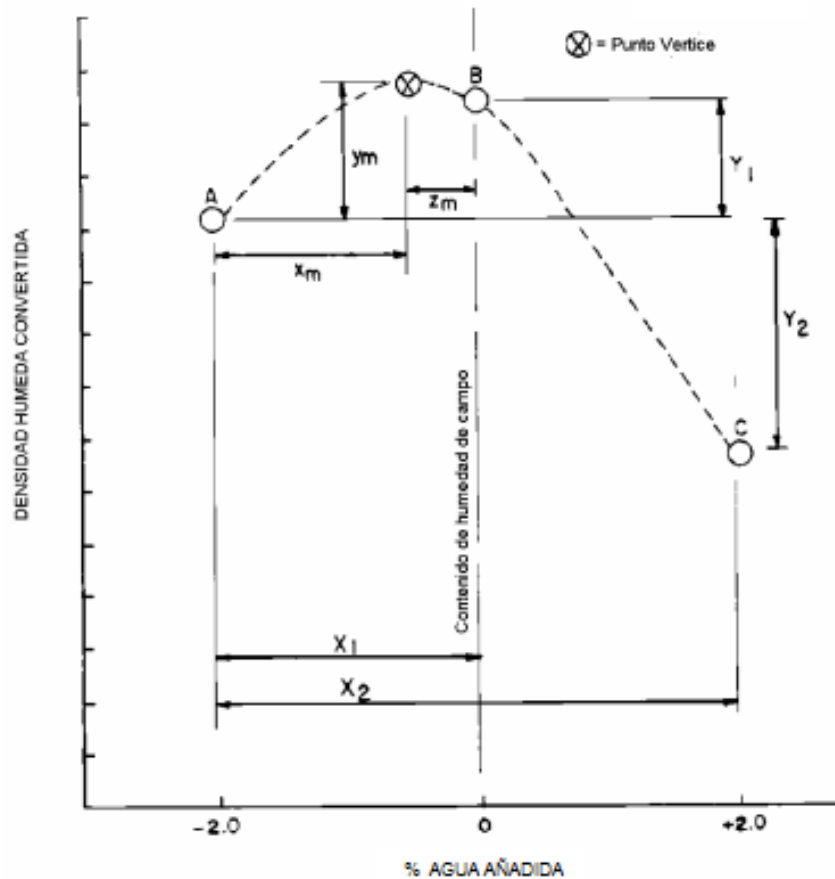


Figura 163 - 1. Determinación del punto vértice en la curva de compactación

**10.13** Se asigna la siguiente notación a los valores de los tres puntos de compactación:

$x_A$ : Agua añadida en el punto A, %.

$x_B$ : Agua añadida en el punto B, %.

$x_C$ : Agua añadida en el punto C, %.

Estos valores pueden ser negativos o positivos o cero; por ejemplo,  $-2.0$ ,  $+2.0$ ,  $0.0$ .

$y_A$ : Densidad convertida del punto A,  $Mg/m^3$  ( $lb/ft^3$ ).

$y_B$ : Densidad convertida del punto B,  $Mg/m^3$  ( $lb/ft^3$ ).

$y_C$ : Densidad convertida del punto C,  $Mg/m^3$  ( $lb/ft^3$ ).

**10.14** Se calcula el valor  $x_1$  de la siguiente manera:

$$x_1 = x_B - x_A \quad [163.3]$$

**10.15** Se calcula el valor  $x_2$  de la siguiente manera:

$$x_2 = x_C - x_A \quad [163.4]$$

*Nota 7: Si se usan incrementos de 2%,  $x_1$  siempre será igual a 2.0 y  $x_2$  igual a 4.0.*

**10.16** Se calcula el valor  $y_1$  de la siguiente manera:

$$y_1 = y_B - y_A \quad [163.5]$$

**10.17** Se calcula el valor  $y_2$  de la siguiente manera:

$$y_2 = y_C - y_A \quad [163.6]$$

**10.18** Se calcula el valor de  $x_m$  de la siguiente manera:

$$x_m = \frac{1}{2} \left[ x_1 + \frac{(x_2 - x_1) \left( \frac{y_1}{x_1} \right)}{\left( \frac{y_1}{x_1} \right) - \left( \frac{y_2}{x_2} \right)} \right] \quad [163.7]$$

**10.19** Se calcula el valor  $z_m$  de la siguiente manera:

$$z_m = x_A + x_m \quad [163.8]$$

**10.20** Se calcula el valor  $y_m$  de la siguiente manera:

$$y_m = \frac{- (x_m^2 \times y_1)}{x_1(x_1 - 2x_m)} \quad [163.9]$$

**10.21** Se calcula la densidad húmeda máxima al contenido de humedad de campo de la siguiente manera:

$$\rho_m = \gamma_A + \gamma_m \quad [163.10]$$

Donde:  $\rho_m$ : Densidad húmeda máxima al contenido de humedad de campo, Mg/m<sup>3</sup> (lb/pie<sup>3</sup>).

**10.22** Se calcula el valor ( $w_f - w_o$ ), de la siguiente manera:

$$(w_f - w_o) = -(z_m + MA) \quad [163.11]$$

Donde:  $w_f - w_o$ : Diferencia en el contenido de humedad entre la de campo y la óptima, %;

MA: Ajuste de humedad, %.

**10.22.1** El valor MA se obtiene de la Figura 163 - 2, marcando el punto correspondiente a  $\rho_m$  y  $z_m$  y seleccionando la línea curva más cercana al punto dibujado. El número correspondiente a esta línea es MA, por ejemplo, -2.0.

*Nota 8: Un valor negativo de ( $w_f - w_o$ ) indica que el suelo in-situ está más seco que el contenido óptimo de humedad, un valor positivo indica que el suelo in-situ está más húmedo que el contenido óptimo de humedad.*

*Nota 9: El ajuste de humedad es necesario, porque cuando el agua es añadida al suelo antes de la compactación del espécimen, el porcentaje de "agua añadida" es calculado con base en la masa del suelo húmedo en lugar de la masa del suelo seco (el contenido de humedad real no se conoce en este momento). Por lo tanto, un 2 % de "agua añadida" es, solamente, una aproximación y se debe hacer un ajuste a  $z_m$  para obtener el valor de ( $w_f - w_o$ ). El valor de este ajuste ha sido calculado y luego dibujado en la Figura 163 - 2.*

**10.23** Se calcula y registra el valor D, en %, de la siguiente manera:

$$\text{Valor D} = \frac{\rho_{\text{húmeda, f}}}{\rho_m} \times 100 \quad [163.12]$$

Donde: Valor D: Equivalente al porcentaje de compactación obtenido con el método rápido; comparación de la densidad in-situ con la densidad máxima de laboratorio, %;

$\rho_{\text{húmeda, f}}$ : Densidad húmeda de campo, Mg/m<sup>3</sup> (lb/pie<sup>3</sup>) (numerales 10.2 a 10.7);

$\rho_m$ : Densidad húmeda máxima al contenido de humedad de campo,  $Mg/m^3$  (lb/pie<sup>3</sup>) (numerales 10.12 a 10.23).

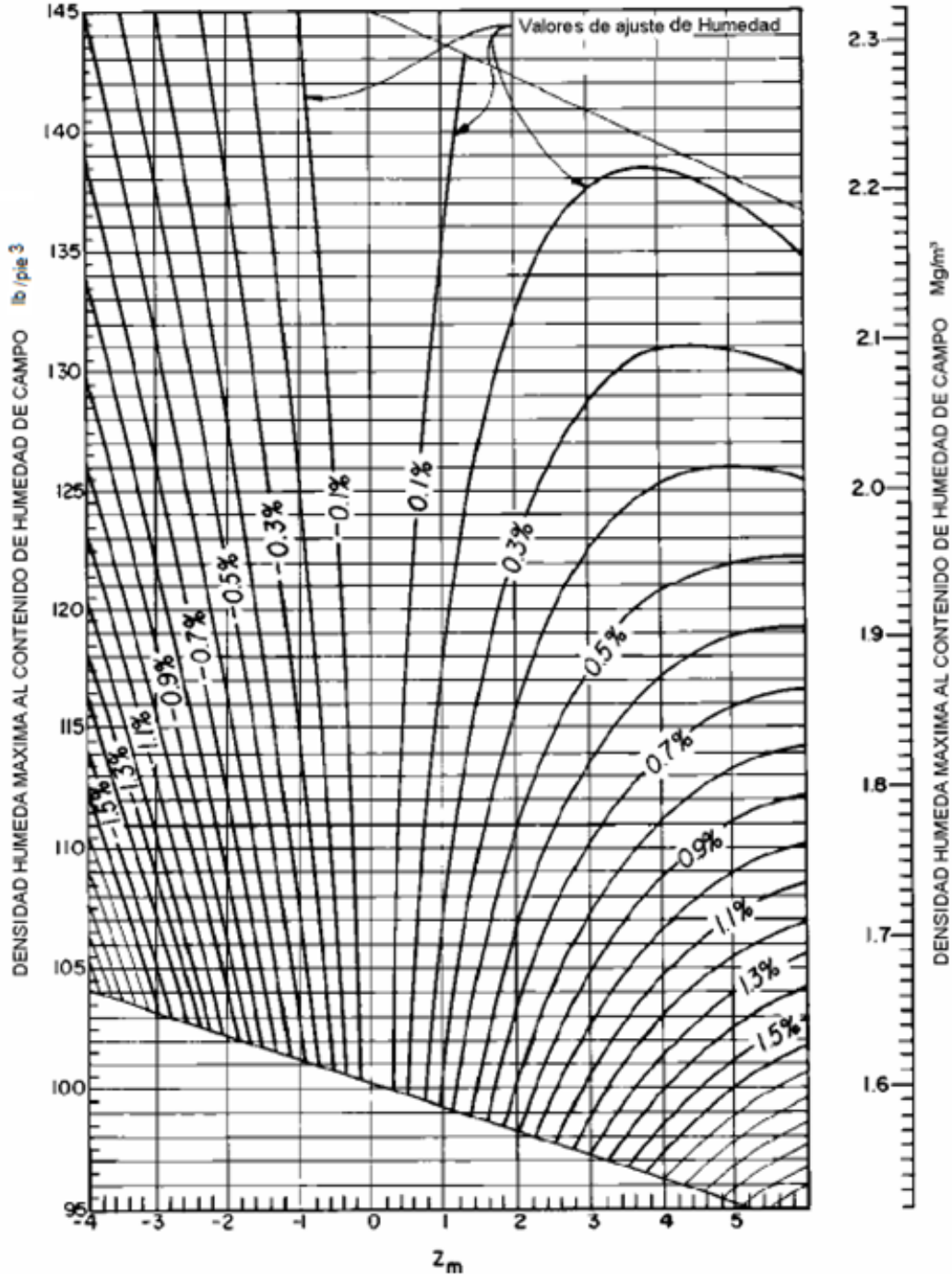


Figura 163 - 2. Valores de ajuste de humedad



## ENSAYO COMPLETO PARA ANOTAR EN EL REGISTRO

**10.24** Los siguientes cálculos se realizan después que se ha determinado el contenido de humedad de campo:

**10.24.1** Se calcula la densidad seca para el ensayo de densidad in-situ, para la densidad máxima de laboratorio y para el primer espécimen de compactación, de la siguiente manera:

$$\rho_d = \frac{\rho_{\text{húmeda}}}{1 + \frac{w_f}{100}} \quad [163.13]$$

Donde:  $\rho_d$ : Densidad seca, Mg/m<sup>3</sup> (lb/pie<sup>3</sup>);

$\rho_{\text{húmeda}}$ : Densidad húmeda, Mg/m<sup>3</sup> (lb/pie<sup>3</sup>);

$w_f$ : Contenido de humedad de campo, %.

*Nota 10: Los valores C y D basados en la densidad seca después de determinado el contenido de humedad de campo pueden diferir  $\pm 0.1$  % de los valores C y D basados en la densidad húmeda en el día de la prueba. Esta diferencia se debe a la manera como son redondeados los números. Los valores C y D reportados en el día de la prueba son la base para la aceptación o el rechazo, aunque los valores generados posteriormente por hojas de cálculo electrónicas puedan ser un poco diferentes.*

**10.24.2** Se calculan el peso unitario seco de la prueba de densidad in-situ, el peso unitario máximo de laboratorio y el peso unitario seco del primer espécimen compactado de la siguiente manera:

$$\gamma_d = 9.807 \times \rho_d \quad [163.14]$$

Donde:  $\gamma_d$ : Peso unitario seco, kN/m<sup>3</sup>;

$\rho_d$ : Densidad seca, Mg/m<sup>3</sup>;

9.807: Factor de conversión, Mg/m<sup>3</sup> a kN/m<sup>3</sup>.

**10.24.3** Se calcula el contenido óptimo de humedad, de la siguiente manera:

$$w_o = w_f + \left[ \left( 1 + \frac{w_f}{100} \right) \times z_m \right] \quad [163.15]$$

- Donde:  $w_o$ : Contenido óptimo de humedad, %;
- $w_f$ : Contenido de humedad de campo, %;
- $z_m$ : Según el numeral 10.19, %.

## 11 INFORME

---

### 11.1 Se debe registrar la siguiente información:

- 11.1.1 Localización y cota del sitio del ensayo y número de identificación.
- 11.1.2 Método de determinación de la densidad en el terreno.
- 11.1.3 Volumen del orificio de prueba.
- 11.1.4 Densidad húmeda in-situ de la fracción total o fracción pasante del tamiz No. 4, o ambas.
- 11.1.5 Densidad seca in-situ de la fracción total o de la fracción pasante del tamiz No. 4, o ambas.
- 11.1.6 Peso unitario seco in-situ de la fracción total o de la fracción pasante del tamiz número 4, o ambas.
- 11.1.7 Contenido de humedad in-situ de la fracción total o de la fracción pasante del tamiz No. 4, o ambas y método(s) de prueba usado(s).
- 11.1.8 Densidad seca máxima, peso unitario seco máximo y humedad óptima.
- 11.1.9 Valor C, valor D y  $(w_f - w_o)$ .
- 11.1.10 Descripción del equipo de prueba.
- 11.1.11 Comentarios pertinentes sobre la prueba.
- 11.1.12 Descripción visual del material ensayado.

## 12 PRECISIÓN Y SESGO

---

- 12.1** *Precisión* – No se presentan datos de ensayo sobre precisión, debido a la naturaleza de los materiales de suelo y roca ensayados por este método. No es factible producir múltiples sitios de ensayo con propiedades uniformes. Cualquier variación observada en los datos se debe, probablemente, a variaciones en los especímenes o a la manera como el operario realiza las pruebas.
- 12.2** *Sesgo* – No existe un valor de referencia aceptado para este método de prueba; por lo tanto, no se puede determinar el sesgo.

## 13 NORMAS DE REFERENCIA

---

ASTM D 5080 – 08

### ANEXO A (Aplicación obligatoria)

#### MÉTODO DEL 1 % PARA DETERMINAR EL PUNTO VÉRTICE DE LA CURVA DE COMPACTACIÓN

---

##### A.1 *Objeto:*

- A.1.1** Este anexo presenta un procedimiento alternativo para preparar el tercer espécimen de compactación y determinar el punto más elevado de la curva de compactación al contenido de humedad de campo.
- A.1.2** Este procedimiento elimina el requisito de secar los suelos cuando su contenido de agua se encuentra cerca del óptimo.
- A.1.3** Este procedimiento solo se puede usar cuando el segundo espécimen de compactación tiene una densidad húmeda convertida menor que la densidad húmeda del primer espécimen de compactación y la diferencia entre ellas es de  $0.05 \text{ Mg/m}^3$  o menos.

*Nota A.1: Este método supone que las dos densidades húmedas se encuentran cerca del vértice de la parábola.*

**A.2 Procedimiento – Obtención de la curva de compactación:**

**A.2.1** Se prepara el tercer espécimen añadiendo 1 % de agua, de la siguiente manera:

**A.2.1.1** Se colocan 2.5 kg del suelo de la muestra original (Ver numeral 10.5) en una bandeja apropiada para mezclar.

**A.2.1.2** Se miden 25 ml de agua. Esta cantidad aumentará la humedad del suelo en, aproximadamente, 1 %. Esto se identifica como “1 % de agua añadida (+ 1.0)”.

**A.2.1.3** Se mezcla completamente el suelo mientras se le rocía el agua. La mezcla se deberá efectuar tan rápido como sea posible, para prevenir pérdida de humedad.

**A.2.1.4** Se compacta el espécimen y se calcula su densidad húmeda de acuerdo con el Método A de la norma INV E-141.

**A.2.1.5** Se calcula y anota la densidad húmeda convertida, de acuerdo con el numeral 10.10.5 de esta norma.

**A.3 Determinación del vértice de la curva de compactación y de  $(w_f - w_o)$** 

**A.3.1** Se designan los tres especímenes de compactación como A, B y C, en orden creciente de contenido de agua, empezando por el espécimen compactado con la humedad del terreno. Se siguen las instrucciones de los numerales 10.13 a 10.22 para calcular la densidad máxima de la curva de compactación y la diferencia  $(w_f - w_o)$ .

**ANEXO B  
(Informativo)****APLICABILIDAD DE LOS VALORES DE AJUSTE DE LA HUMEDAD**

---

**B.1** Durante el proceso de ensayo se añade agua al suelo. El porcentaje añadido se basa en la masa del suelo húmedo, por cuanto la humedad real se desconoce en ese momento. Se puede realizar un ajuste para obtener una mejor aproximación del valor  $(w_f - w_o)$  empleando la Figura 163 - 2, como se explica en el numeral 10.22.

- B.2** Los valores de ajuste de la humedad se basan en la curva de mejor ajuste obtenida sobre 1300 puntos que relacionan la humedad óptima versus la densidad húmeda a la humedad óptima, como se muestra en la Figura 163B - 1.
- B.3** Las propiedades del suelo que se está ensayando se deben verificar en la Figura 163B - 1, para ver si los valores de él encajan dentro de la banda que representa el promedio  $\pm 2$  veces la desviación estándar.
- B.4** Si el suelo cae por fuera de la banda, se deberán desarrollar ajustes especiales de la humedad para él. Sobre el particular, se pueden encontrar instrucciones en el Apéndice B del documento “*A Rapid Method of Construction Control for Embankments of Cohesive Soil*”, de autoría de Jack W. Hilf, publicado en Engineering Monograph No. 26 del *Bureau of Reclamation*, quinta edición, de agosto de 1981.
- B.5** Los datos usados para desarrollar las Figuras 163 - 2 y 163B - 1 provienen del ensayo del *Bureau of Reclamation*, que usa un molde de  $1/20 \text{ pie}^3$ , donde la muestra se compacta en 3 capas, con 25 golpes por capa, con un martillo de 5.5 libras con caída libre de 18 pulgadas, empleando solo material que pasa el tamiz No. 4. La energía de compactación de este ensayo es de  $12\,375 \text{ lb-pie/pie}^3$ , la cual es comparable a la del ensayo normal de compactación (norma INV E-141). Posiblemente, sea necesario desarrollar valores de ajuste de la humedad separados para suelos con gravedades específicas muy bajas o muy altas, o compactados con una energía diferente.

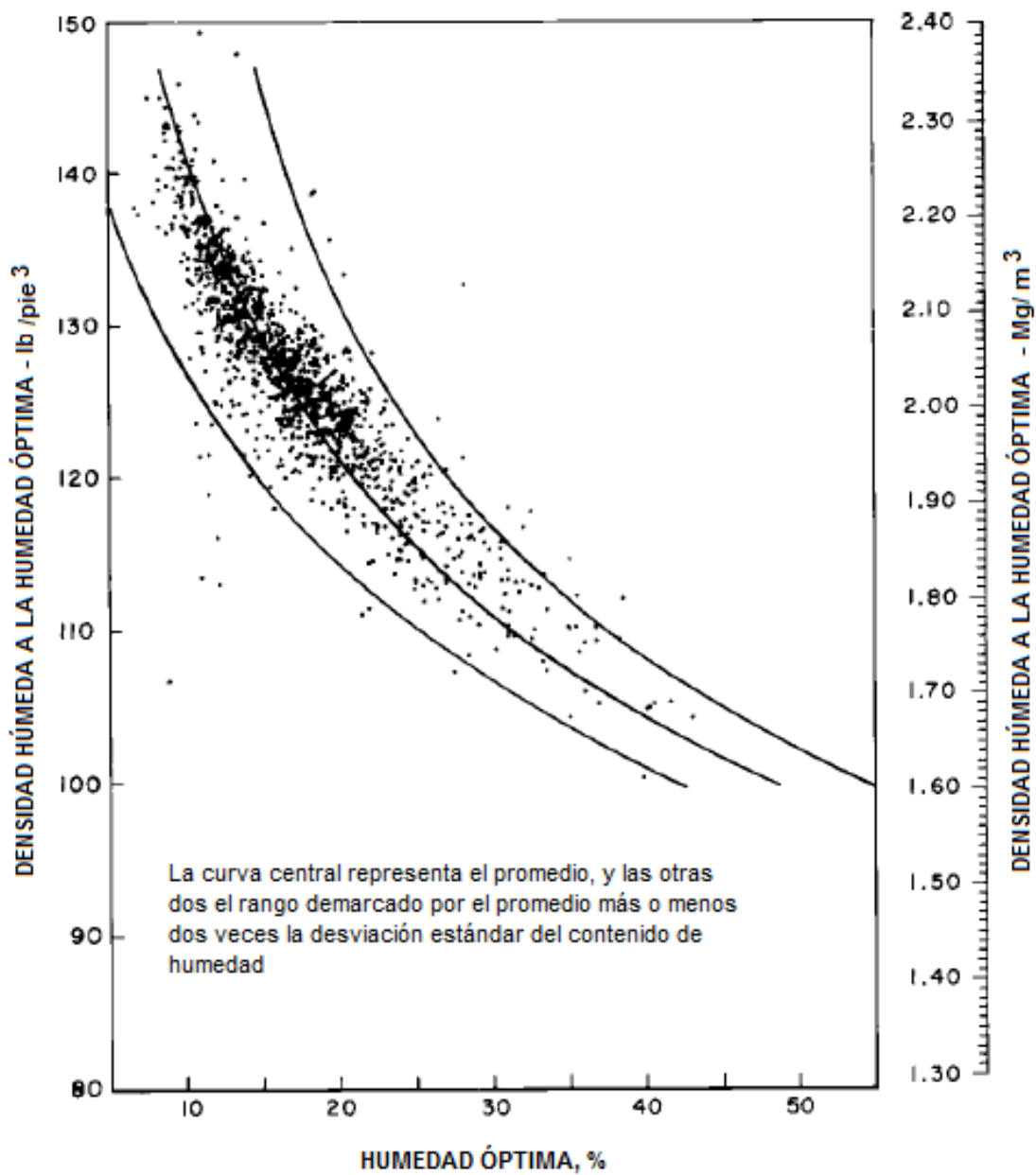


Figura 163B - 1. Humedad óptima contra densidad húmeda a la humedad óptima

# DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD Y DEL CONTENIDO DE AGUA DEL SUELO Y DEL SUELO-AGREGADO EN EL TERRENO EMPLEANDO MEDIDORES NUCLEARES (Profundidad Reducida)

INV E – 164 – 13

## 1 OBJETO

---

- 1.1** Esta norma describe los procedimientos para medir en el terreno la densidad y la humedad del suelo y del suelo-agregado, empleando un equipo nuclear. La densidad se puede medir por transmisión directa, retrodispersión o por una combinación de retrodispersión y un colchón de aire. Las medidas de humedad se toman en la superficie por retrodispersión, independientemente del método usado para determinar la densidad.
- 1.2** La densidad total o densidad húmeda del suelo y del suelo-agregado se mide mediante la atenuación de rayos gamma donde, en transmisión directa, la fuente está localizada a una profundidad conocida hasta de 300 mm (12") mientras el detector permanece en la superficie (algunos equipos pueden reversar esta orientación); mientras que en retrodispersión o en retrodispersión/colchón de aire, la fuente y los detectores permanecen en la superficie.
- 1.3** La densidad de la muestra de ensayo, en masa por unidad de volumen del material, se determina comparando la cantidad de radiación gamma con una información de calibración previamente establecida.
- 1.3.1** La densidad seca de la muestra se obtiene sustrayendo la masa de agua por unidad de volumen, de la densidad húmeda de la muestra. La mayoría de los equipos despliega directamente el valor de la densidad seca.
- 1.4** El medidor nuclear está calibrado para leer la masa de agua por unidad de volumen de suelo o suelo-agregado. Cuando se divide por la densidad del agua y se multiplica por 100, la masa de agua por unidad de volumen es equivalente al contenido de agua en volumen. El contenido de agua se determina por medio de la termalización o reducción de velocidad de neutrones rápidos, causada por el hidrógeno presente en el agua, cuando una fuente de

neutrones de alta velocidad y un detector de neutrones termales permanecen ambos en la superficie.

**1.5** La norma presenta dos procedimientos (Figura 164 - 1):

**1.5.1** *Procedimiento A* – Describe el método de transmisión directa, en el cual la varilla fuente de rayos gamma se introduce en el suelo hasta la profundidad elegida, en un orificio previamente elaborado. Este es el método preferido para determinar la densidad.

**1.5.2** *Procedimiento B* – Involucra un aparato de retrodispersión, el cual tiene la fuente y el detector de rayos en el mismo plano.

**1.6** Esta norma reemplaza las normas INV E-164-07 e INV E-166-07.

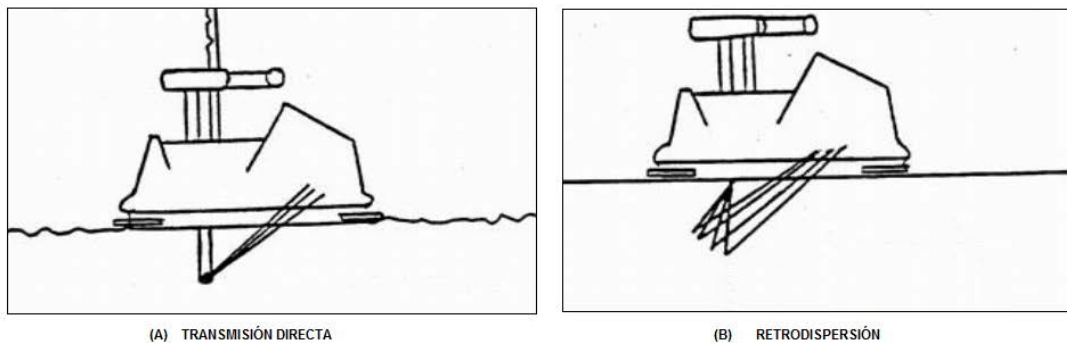


Figura 164 - 1. Procedimientos para medida de la densidad y la humedad con un equipo nuclear

## 2 DEFINICIONES

**2.1** *Aparato nuclear (medidor nuclear)* – Dispositivo que contiene una o más fuentes de radiación usadas para medir ciertas propiedades del suelo y del suelo-agregado.

**2.2** *Densidad húmeda* – Masa total (sólidos + agua) en el volumen total de un suelo o de un suelo-agregado.

**2.3** *Densidad seca* – Masa de las partículas sólidas en el volumen total de un suelo o de un suelo-agregado.

**2.4** *Fuente gamma* – Una fuente sellada de material radiactivo que emite radiación gamma.



- 2.5** *Fuente de neutrones* – Una fuente sellada de material radiactivo que emite radiación de neutrones
- 2.6** *Dispersión Compton* – Interacción entre un rayo gamma (fotón) y un electrón orbital, donde el rayo gamma pierde energía y rebota en una dirección diferente.
- 2.7** *Detector* – Dispositivo para detectar y medir radiación.
- 2.8** *Sonda* – Varilla de metal adjunta a un aparato nuclear, en la cual se encuentra alojada la fuente radiactiva o el detector. La varilla puede ser descendida a las profundidades especificadas de ensayo. Las sondas que contienen solamente la fuente radiactiva se llaman comúnmente “varillas fuente”.
- 2.9** *Termalización* – Proceso por medio del cual los neutrones rápidos pierden velocidad a causa de su colisión con átomos de bajo peso, como los de hidrógeno.
- 2.10** *Contenido de agua* – Relación entre la masa de agua contenida en los vacíos del suelo o suelo-agregado y la masa de las partículas sólidas, expresada en porcentaje.
- 2.11** *Contenido de agua volumétrica* – Volumen de agua, como porcentaje del volumen total de un material de suelo o roca.
- 2.12** *Conteo de ensayo* – Dato de salida de un detector, para un tipo específico de radiación en un ensayo dado.
- 2.13** *Bloques preparados* – Bloques de suelo, roca sólida, concreto y materiales de ingeniería, que poseen características de diversos grados de uniformidad reproducible.

### **3 IMPORTANCIA Y USO**

---

- 3.1** El método de ensayo descrito es útil como una técnica rápida no destructiva para medir en el sitio la densidad húmeda y el contenido de agua de suelos y mezclas de suelo-agregado, así como para determinar la densidad seca.
- 3.2** El método tiene aplicación en pruebas de control de calidad y de aceptación de mezclas compactadas de suelo y de suelo-agregado en la construcción, así como en trabajos de investigación y desarrollo. La naturaleza no destructiva de

este tipo de ensayos permite hacer mediciones repetidas en un solo sitio y efectuar análisis estadístico de los resultados.

- 3.3** *Densidad* – Las suposiciones fundamentales inherentes en los métodos son: (1) que la dispersión Compton es la interacción dominante, y (2) que el material es homogéneo.
- 3.4** *Contenido de agua* – Las suposiciones fundamentales inherentes en el método de ensayo son: (1) que los iones hidrógeno presentes en el suelo o en el suelo-agregado lo están en forma de agua, de la manera que ella se obtiene mediante la norma INV E-122, y (2) que el material es homogéneo (Ver numeral 4.2).

## 4 INTERFERENCIAS

---

- 4.1** *Interferencias para la medida de la densidad in-situ:*
- 4.1.1** La composición química de la muestra puede afectar las mediciones.
- 4.1.2** Las mediciones se pueden ver afectadas por la falta de homogeneidad del suelo y por su textura superficial.
- 4.1.3** Las medidas en el método de retrodispersión están más influenciadas por la densidad y la humedad del material que se encuentra más cerca de la superficie.
- 4.1.4** Las medidas en el modo de transmisión directa son un promedio de la densidad del material existente entre la parte inferior de la sonda y la superficie del aparato.
- 4.1.5** Partículas de gran tamaño o vacíos grandes en la trayectoria de la fuente o detector, pueden causar determinaciones de densidad mayores o menores de las reales. Cuando se sospecha que no haya uniformidad en el suelo debido a la estratificación, presencia de agregados gruesos o vacíos, el sitio del sitio de ensayo se debe excavar y examinar visualmente para determinar si el material de ensayo es representativo de todo el material en general y si se necesita hacer la corrección por sobretamaños de acuerdo con la norma INV E-143.
- 4.1.6** El volumen de la muestra de ensayo es, aproximadamente, 0.0028 m<sup>3</sup> (0.10 pies<sup>3</sup>) para el método de retrodispersión y 0.0057 m<sup>3</sup> (0.20 pies<sup>3</sup>)

para el método de transmisión directa, cuando la profundidad de ensayo es 15 cm (6"). El volumen real de la muestra es indeterminado y varía con el tipo de aparato y la densidad del material.

**4.1.7** No puede haber otras fuentes de radiación a menos de 9 m (30 pies) del equipo en operación.

#### **4.2** *Interferencias para la medida de la humedad in-situ:*

**4.2.1** La composición química de la muestra puede afectar dramáticamente las mediciones, siendo necesario realizar ajustes (Ver numeral 9.6). El hidrógeno en forma diferente al agua definida como se indica en la norma de ensayo INV E-122 y el carbono, dan lugar a resultados superiores a los valores reales. Algunos elementos químicos como el boro, el cloro y pequeñas cantidades de cadmio, producen medidas más bajas que las reales.

**4.2.2** El contenido de agua determinado por este método de ensayo no es necesariamente el promedio del agua dentro del volumen de muestra involucrado en la medición. Puesto que esta medida se realiza siempre por retrodispersión, el valor es sesgado por el contenido de agua del material que se encuentra más cerca de la superficie. El volumen de suelo o suelo-agregado representado en la medida es indeterminado y variará con el contenido de agua del material. En general, entre mayor sea el contenido de agua del material, menor es el volumen involucrado en la medida. Aproximadamente, el 50 % de una medida típica proviene del contenido de agua existente en los 50 a 75 mm (2 a 3") superiores.

**4.2.3** No puede haber otras fuentes de neutrones a menos de 9 m (30 pies) del equipo en operación.

## **5 EQUIPO**

---

**5.1** *Aparato nuclear para medir la densidad y la humedad* – Mientras que los detalles exactos de construcción del aparato pueden variar, el sistema debe consistir básicamente en:

**5.1.1** *Fuente gamma* – Una fuente de radiación gama de alta energía, como cesio o radio.

- 5.1.2** *Detector gama* – Cualquier tipo de detector gama, como un (os) tubo (s) Geiger–Mueller.
- 5.1.3** *Fuente de neutrones rápidos* – Una mezcla sellada de material radioactivo, tal como americio o radio y un material objetivo como el berilio, o un emisor de neutrones como el californio 252.
- 5.1.4** *Detector de neutrones lentos* – Cualquier tipo de detector de neutrones lentos, como el contador de radiaciones de trifluoruro de boro o helio –3.
- 5.2** *Referencia estándar (bloque estándar)* – Se utiliza un bloque de material hidrogenado para comprobar la operación del equipo y la calibración, para corregir el debilitamiento de la emisión, y para establecer condiciones para una velocidad de conteo reproducible.
- 5.3** *Dispositivo de preparación del sitio* – Se pueden emplear una placa de acero, una regla u otras herramientas adecuadas para nivelación, para perfilar el sitio de prueba hasta lograr la lisura requerida.
- 5.4** *Punzón* – Un punzón de diámetro ligeramente mayor que la sonda del instrumento de transmisión directa, el cual se usa para preparar un orificio en el material que va a estar sometido al ensayo y dentro del cual se va a insertar la sonda.
- 5.4.1** *Guía para el punzón* – Accesorio que sostiene el punzón en dirección vertical.
- 5.4.2** *Extractor de punzón* – Dispositivo que se puede usar para remover el punzón en la dirección vertical de manera que éste, al salir, no distorsione el orificio.
- 5.5** *Martillo* - Con el peso suficiente para conducir el punzón a la profundidad requerida, sin una distorsión indebida del orificio.
- 5.6** *Martillo deslizante* – Con un punzón incorporado, se puede utilizar como alternativa para preparar el orificio en el material que va a ser ensayado y para extraer el punzón sin distorsionar el orificio.

## 6 PELIGROS

---

- 6.1** Este equipo utiliza material radioactivo que puede ser peligroso para la salud del usuario, a menos que se tomen todas las precauciones necesarias. El usuario del equipo se debe familiarizar con los procedimientos de seguridad y las regulaciones gubernamentales.
- 6.2** Instrucciones efectivas al usuario sobre algunos procedimientos rutinarios de seguridad, tales como pruebas para detectar fugas de radioactividad, el registro de los datos del dosímetro personal, el uso de contadores de radiación, etc., se recomiendan como parte del sistema de operación de los equipos de este tipo.

## 7 CALIBRACIÓN

---

- 7.1** La calibración del instrumento se debe realizar de acuerdo con los Anexos A y B.

## 8 NORMALIZACIÓN

---

- 8.1** Todos los instrumentos nucleares para medir la densidad y la humedad están sujetos al envejecimiento a largo plazo de la fuente radioactiva, de los detectores y del sistema electrónico, lo cual va cambiando la relación entre las velocidades de conteo y la densidad y el contenido de agua del material. Para compensar este envejecimiento, los instrumentos se deben calibrar mediante la relación entre el conteo medido y el conteo hecho sobre una referencia estándar o sobre un colchón de aire (este último, para el método retrodispersión/colchón de aire).
- 8.2** Se requiere la normalización del equipo sobre una referencia estándar (bloque estándar) al empezar cada día de trabajo, debiéndose llevar un registro permanente de la información que se ha obtenido, para asegurar el cumplimiento de los requisitos mencionados en los numerales 8.2.2 u 8.2.3. La normalización se debe efectuar con el equipo alejado, al menos, 9 m (30 pies) de otros medidores y lejos de grandes masas de agua u otros materiales que puedan afectar las velocidades de conteo en la referencia estándar.
- 8.2.1** Se enciende el instrumento y se permite que se establezca de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

**8.2.2** Usando la referencia estándar (bloque estándar), se toma una lectura que dure, al menos, 4 veces lo que dura una medida normal (el período de una medida normal es, típicamente, un minuto), para constituir un chequeo de normalización. Se debe usar el procedimiento recomendado por el fabricante para establecer la conformidad de la medida sobre la referencia estándar con el rango aceptado. Si no hay recomendaciones específicas del fabricante, se empleará el procedimiento indicado en el numeral 8.2.3.

**8.2.3** Si los valores del conteo de la normalización actual están por fuera de los límites establecidos en las ecuaciones 164.1 y 164.2, se deberá repetir la prueba de normalización. Si el segundo chequeo las satisface, se considera que el aparato está en condiciones satisfactorias para operar.

$$0.99 (N_{dc})e^{\frac{-(\ln(2))t}{T_{d(1/2)}}} \leq N_{d0} \leq 1.01 (N_{dc})e^{\frac{-(\ln(2))t}{T_{d(1/2)}}} \quad [164.1]$$

$$0.98 (N_{mc})e^{\frac{-(\ln(2))t}{T_{m(1/2)}}} \leq N_{m0} \leq 1.02 (N_{mc})e^{\frac{-(\ln(2))t}{T_{m(1/2)}}} \quad [164.2]$$

Donde:  $T_{d(1/2)}$ : Vida media del isótopo usado por el aparato para determinar la densidad. Por ejemplo, para el isótopo radiactivo más comúnmente usado para la determinación de la densidad en estos aparatos, el  $^{137}\text{Cs}$ , el valor  $T_{d(1/2)}$  es 11 023 días;

$T_{m(1/2)}$ : Vida media del isótopo usado por el aparato para determinar el contenido de agua. Por ejemplo, para el isótopo en Am:Be más comúnmente usado para la determinación del contenido de agua en estos aparatos, el  $^{241}\text{Am}$ , el valor  $T_{m(1/2)}$  es 157 788 días;

$N_{dc}$ : Conteo de normalización del sistema de densidad, obtenido en el momento de la última calibración o verificación;

$N_{mc}$ : Conteo de normalización del sistema de humedad, obtenido en el momento de la última calibración o verificación;

- $N_{d0}$ : Conteo actual del sistema de densidad;
- $N_{m0}$ : Conteo actual del sistema de humedad;
- t: Tiempo transcurrido entre el ensayo de normalización actual y la fecha de la última calibración o verificación. Las unidades seleccionadas para t,  $T_{d(1/2)}$  y  $T_{m(1/2)}$  deben ser consistentes; es decir, si  $T_{d(1/2)}$  se expresa en días, los otros dos valores también se deben expresar en días;
- $\ln(2)$ : Logaritmo natural de 2 (aproximadamente 0.69315);
- e: 2.71828

**8.2.4** Si, por alguna razón, la densidad o el contenido de agua medidos durante el día parecen sospechosos, se debe realizar otra prueba de normalización.

**8.3** *Ejemplo* – Un aparato nuclear que contiene una fuente de  $^{137}\text{Cs}$  para la determinación de la densidad (vida media = 11 023 días) y una de  $^{241}\text{Am}$  para la determinación de la humedad (vida media = 157 788 días) se calibra el día 1 de marzo de un año determinado. En el momento de la calibración, el conteo estándar de densidad fue 2800 cuentas por minuto (pre-escalado) y el conteo estándar de humedad fue 720 cuentas por minuto (pre-escalado). ¿De acuerdo con las ecuaciones 164.1 y 164.2 del numeral 8.2.3, cuál será el rango permitido de cuentas estándar el día 1 de noviembre del mismo año?

**8.3.1** *Solución* – Entre el día de calibración (marzo 1) y el de verificación (noviembre 1) han transcurrido 245 días; por lo tanto:  $t = 245$  días,  $T_{d(1/2)} = 11\,023$  días,  $T_{m(1/2)} = 157\,788$  días,  $N_{dc} = 2800$  cuentas y  $N_{mc} = 720$  cuentas.

**8.3.2** De acuerdo con la ecuación 164.1, el límite inferior del conteo estándar para la densidad, tomado el 1 de noviembre ( $N_{d0}$ ), es:

$$0.99(N_{dc})e^{\frac{-(\ln(2))t}{T_{d(1/2)}}} = 0.99(2800)e^{\frac{-(\ln(2))245}{11\,023}} = 2730 \text{ cuentas}$$

**8.3.3** Del mismo modo, el límite superior del conteo estándar para la densidad, tomado el 1 de noviembre ( $N_{d0}$ ), es:

$$1.01(N_{dc})e^{\frac{-(\ln(2))t}{T_{d(1/2)}}} = 1.01(2800)e^{\frac{-(\ln(2))245}{11\ 023}} = 2785 \text{ cuentas}$$

**8.3.4** Por lo tanto, el conteo estándar para densidad obtenido el 1 de noviembre se debe encontrar entre 2730 y 2785 cuentas.

**8.3.5** De acuerdo con la ecuación 164.2, el límite inferior del conteo estándar para la humedad, tomado el 1 de noviembre ( $N_{m0}$ ), es:

$$0.98(N_{mc})e^{\frac{-(\ln(2))t}{T_{m(1/2)}}} = 0.98(720)e^{\frac{-(\ln(2))245}{157\ 788}} = 705 \text{ cuentas}$$

**8.3.6** Del mismo modo, el límite superior del conteo estándar para la humedad, tomado el 1 de noviembre ( $N_{m0}$ ), es:

$$1.02(N_{mc})e^{\frac{-(\ln(2))t}{T_{m(1/2)}}} = 1.02(720)e^{\frac{-(\ln(2))245}{157\ 788}} = 733 \text{ cuentas}$$

**8.3.7** Por lo tanto, el conteo estándar para humedad obtenido el 1 de noviembre se debe encontrar entre 705 y 733 cuentas.

## 9 PROCEDIMIENTO

**9.1** Siempre que resulte posible, se selecciona un sitio para la prueba donde el instrumento, en la posición de ensayo, esté alejado al menos 600 mm (24"), en sentido vertical u horizontal, de algún objeto cuya presencia tenga la posibilidad de modificar la respuesta del aparato.

**9.2** Se prepara el sitio de prueba de la siguiente manera:

**9.2.1** Se remueve todo el material que se encuentre suelto y alterado y se retira el material adicional que sea necesario, para alcanzar la superficie del material que se va a ensayar.

**9.2.2** Se prepara un área horizontal de tamaño suficiente para acomodar el equipo; se obtiene una condición lisa mediante nivelación o raspado, de tal manera que se logre el máximo contacto entre el equipo y el material que se va a ensayar.

**9.2.3** La colocación del instrumento sobre la superficie del material que se va a ensayar es crítica para la determinación exitosa de la densidad y del contenido de agua. La condición óptima es el contacto total entre la



base del instrumento y la superficie del material que está siendo ensayado. El vacío máximo debajo del instrumento no debe exceder de 3 mm (1/8"), aproximadamente. Se deben usar finos del sitio con contenidos de agua similares o una arena fina para rellenar los vacíos. El material de relleno se deberá nivelar con una placa rígida u otra herramienta apropiada. El área total rellenada no deberá superar el 10 % del área de la base del instrumento y la profundidad rellenada no deberá exceder de 3 mm (1/8").

**9.3** Se enciende el aparato y se espera que se estabilice, siguiendo para ello las instrucciones del fabricante.

**9.4** *Procedimiento A - Procedimiento de transmisión directa:*

**9.4.1** Se selecciona un sitio para la prueba donde el instrumento, en la posición de ensayo, esté alejado al menos 150 mm (6") de alguna proyección vertical, de acuerdo con lo indicado en el numeral 9.1.

**9.4.2** Empleando el punzón y su guía, se perfora un orificio perpendicular a la superficie preparada. La perforación se debe llevar, como mínimo, 50 mm (2") más abajo de la profundidad deseada para realizar la medida, y su alineación deberá ser tal que la inserción de la sonda no haga inclinar al aparato respecto del plano del área preparada.

**9.4.3** Se marca el área de ensayo para permitir la colocación del aparato nuclear sobre ella y alinear la varilla fuente en el orificio. Se deben seguir las instrucciones que, sobre el asunto, se encuentren en el manual de instrucciones del aparato.

**9.4.4** Se remueve el punzón con el mayor cuidado, con el fin de evitar la distorsión del orificio, la caída de material suelto dentro de él o el daño a la superficie.

*Nota 1: Se debe tener cuidado cuando se haga un orificio en suelos granulares sin cohesión, por cuanto las medidas se pueden ver afectadas por modificaciones en la densidad de los materiales circundantes en el momento de formar el hueco.*

**9.4.5** Se asienta el equipo firmemente sobre la superficie a ensayar, asegurando el máximo contacto, de acuerdo con lo descrito en el numeral 9.2.3.

**9.4.6** Se hace descender la sonda hasta la profundidad deseada. Se tira suavemente el aparato hacia atrás, para que la parte trasera de la

sonda entre en contacto íntimo con el lado del hueco que queda en la trayectoria de medición de los rayos gamma.

*Nota 2: Como medida de seguridad, se recomienda que una sonda que contenga una fuente radiactiva no se extienda más allá de su posición de protección, antes de colocarla dentro del orificio de prueba. Siempre que sea posible, el aparato se debe alinear de manera de permitir que la sonda penetre directamente en el orificio desde su posición de protección.*

- 9.4.7** Se mantiene cualquier otra fuente radiactiva a una distancia no menor de 9 m (30 pies) del medidor, para evitar que se afecten sus mediciones.
- 9.4.8** Si el aparato dispone de un selector de profundidad, se ajusta éste a la misma profundidad de la sonda.
- 9.4.9** Se obtienen y anotan una o más lecturas de densidad y humedad, de un minuto cada una. La densidad húmeda en el sitio se lee directamente en el aparato o se determina con ayuda de la curva de calibración o de una tabla preparada con anterioridad.
- 9.4.10** Se lee la humedad directamente en el aparato o se determina con ayuda de la curva de calibración o de una tabla preparada con anterioridad.
- 9.5** *Procedimiento B - Procedimiento de retrodispersión o retrodispersión /colchón de aire:*
- 9.5.1** Se asienta el equipo firmemente.
- 9.5.2** Se mantiene cualquier otra fuente radiactiva a una distancia no menor de 9 m (30 pies) del medidor, para evitar que se afecten sus mediciones.
- 9.5.3** Se pone el aparato en la posición de retrodispersión.
- 9.5.4** Se obtienen y anotan una o más lecturas de densidad y humedad, de un minuto cada una. Cuando se use el modo de relación retrodispersión /colchón de aire, se deberán seguir las instrucciones del fabricante en relación con la puesta a punto del aparato. Se deberá tomar el mismo número de lecturas con el aparato en posición de colchón de aire que en posición de retrodispersión. Se calcula la relación de colchón de aire, dividiendo las cuentas por minuto obtenidas en la posición de colchón de aire por las cuentas por minuto

obtenidas en la posición normal (retrodispersión). Muchos aparatos traen de fábrica la manera de calcular automáticamente esta relación y la densidad húmeda.

**9.5.5** La densidad húmeda en el sitio se lee directamente en el aparato o se determina con ayuda de la curva de calibración o de una tabla preparada con anterioridad.

**9.5.6** Se lee la humedad directamente en el aparato o se determina con ayuda de la curva de calibración o de una tabla preparada con anterioridad (Ver numeral 9.6).

**9.6** *Corrección del contenido de agua y corrección por sobretamaños:*

**9.6.1** Para un uso apropiado del aparato y para obtener valores exactos, tanto de humedad como de densidad seca, se requiere realizar ambas correcciones cuando sean necesarias. Antes de usar el valor de humedad obtenido del aparato, este valor se debe contrastar con el obtenido por otro método de ensayo como, por ejemplo, alguno de los descritos en las normas INV E-122, INV E-135 o INV E-150. Como parte de un procedimiento rutinario, para realizar verificaciones se deben tomar muestras ocasionales debajo del sitio donde se colocó el medidor nuclear. Todos los fabricantes de medidores nucleares tienen un procedimiento para corregir los valores de humedad derivados de sus aparatos.

**9.6.2** Si en el sitio del ensayo hay sobretamaños, se debe rotar el medidor alrededor del eje de la sonda para obtener lecturas adicionales de verificación. Cuando exista alguna incertidumbre en relación con la existencia de sobretamaños, es aconsejable hacer un muestreo en el sitio para verificar la existencia y la proporción relativa de dichas partículas. La norma INV E-143 presenta un método para corregir tanto la densidad húmeda como el contenido de agua.

**9.6.3** Cuando se realice el muestreo mencionado en el numeral anterior, la muestra se debe tomar exactamente bajo el sitio que ocupó el medidor nuclear. El tamaño de dicha área es, aproximadamente, de 200 mm (8") de diámetro por una profundidad igual a la de inserción de la sonda cuando se usa el método de transmisión directa, o de 75 mm (3") cuando se emplea el modo de retrodispersión.

## 10 CÁLCULOS Y RESULTADOS

### 10.1 Determinación de la densidad húmeda:

**10.1.1** En la mayoría de los aparatos se puede leer directamente su valor en  $\text{kg/m}^3$  ( $\text{lb/pie}^3$ ). Si la lectura de la densidad se presenta en “cuentas”, la densidad húmeda se determina a partir de ellas y de una curva o tabla de calibración previamente establecida.

**10.1.2** Se anota la densidad húmeda con aproximación a  $1 \text{ kg/m}^3$  ( $0.1 \text{ lb/pie}^3$ ).

### 10.2 Determinación del contenido de agua (humedad):

**10.2.1** Se adopta la lectura del aparato, si éste la despliega en términos de humedad ( $w$ ).

**10.2.2** Si lo que el aparato entrega es la masa de agua por unidad de volumen, en  $\text{kg/m}^3$  ( $\text{lb/pie}^3$ ), la humedad ( $w$ ), como porcentaje de la masa unitaria seca o del peso unitario seco, se calcula de la siguiente manera:

$$w = \frac{M_m \times 100}{\rho_d} \quad [164.3]$$

O:

$$w = \frac{M_m \times 100}{\rho - M_m} \quad [164.4]$$

$$w = \frac{M_m \times 100}{\rho - M_m}$$

Donde:  $w$ : Contenido de agua, porcentaje de la densidad seca;

$M_m$ : Contenido de agua,  $\text{kg/m}^3$  ( $\text{lb/pie}^3$ );

$\rho_d$ : Densidad seca del suelo,  $\text{kg/m}^3$  ( $\text{lb/pie}^3$ );

$\rho$ : Densidad húmeda (total) del suelo,  $\text{kg/m}^3$  ( $\text{lb/pie}^3$ ).

**10.2.3** Si la lectura de la densidad se presenta en el aparato en “cuentas”, la masa de agua por unidad de volumen se determina a partir de ellas y de una curva o tabla de calibración previamente establecida. Luego, se convierte en contenido de agua gravimétrico aplicando las fórmulas del numeral 10.2.2.

**10.3** *Determinación de la densidad seca del suelo ( $\rho_d$ ):*

**10.3.1** Se puede aplicar alguno de los métodos que se describen a continuación:

**10.3.1.1** Si el contenido de agua se ha obtenido por el método nuclear, se emplean las lecturas del aparato para calcular la densidad seca, así:

$$\rho_d = \rho - M_m \quad [164.5]$$

**10.3.1.2** Si el contenido de agua se determinó a partir de una muestra de suelo como se indicó en el numeral 9.6.3, se deben seguir los procedimientos descritos en la norma de ensayo que se haya aplicado (INV E-122, INV E-135 o INV E-150).

**10.3.1.3** Con el contenido de agua obtenido según el numeral 10.3.1.2, la densidad seca se calcula con la expresión:

$$\rho_d = \frac{\rho}{100 + w} \times 100 \quad [164.6]$$

**10.3.1.4** La densidad seca se informa con aproximación a 1 kg/m<sup>3</sup> (0.1 lb/pe<sup>3</sup>).

**10.4** *Determinación del porcentaje de compactación:*

**10.4.1** Si se quiere expresar la densidad seca como porcentaje de una densidad máxima de laboratorio como, por ejemplo, de la obtenida según las normas INV E-141 o INV E-142, basta dividir la primera por la segunda y multiplicar por 100. Siempre que se requiera efectuar correcciones por la presencia de sobretamaños, ellas se deberán realizar de conformidad con la norma INV E-143.

## 11 INFORME

---

**11.1** Los registros de campo deben incluir, como mínimo:

**11.1.1** Número o identificación del ensayo.

**11.1.2** Identificación del sitio de prueba.

**11.1.3** Descripción visual del material ensayado.

**11.1.4** Número de la capa ensayada o elevación o profundidad.

**11.1.5** Nombre del operador.

**11.1.6** Marca, modelo y serial del dispositivo de prueba.

**11.1.7** Procedimiento de ensayo (A o B).

**11.1.8** Datos de normalización y ajuste en la fecha del ensayo.

**11.1.9** Correcciones hechas a los valores reportados y motivos para hacerlas (por ejemplo, presencia de sobretamaños).

**11.1.10** Densidad máxima de laboratorio en  $\text{kg/m}^3$  o  $\text{lb/pe}^3$ .

**11.1.11** Densidad seca en  $\text{kg/m}^3$  o  $\text{lb/pe}^3$ .

**11.1.12** Densidad húmeda en  $\text{kg/m}^3$  o  $\text{lb/pe}^3$ .

**11.1.13** Contenido de agua en %.

**11.1.14** Porcentaje de compactación.

**11.2** Informe final (información mínima requerida):

**11.2.1** Número del ensayo.

**11.2.2** Número de serie del aparato.

**11.2.3** Localización del ensayo.

**11.2.4** Número de la capa ensayada o elevación o profundidad.

- 11.2.5 Contenido de agua en %.
- 11.2.6 Densidad máxima de laboratorio en  $\text{kg/m}^3$  o  $\text{lb/pe}^3$ .
- 11.2.7 Densidad seca en  $\text{kg/m}^3$  o  $\text{lb/pe}^3$ .
- 11.2.8 Porcentaje de compactación.
- 11.2.9 Nombre del operador.

## 12 PRECISIÓN Y SESGO

---

### 12.1 *Precisión:*

- 12.1.1 *Precisión en la densidad húmeda* – Los criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados de la densidad húmeda obtenidos mediante este método de ensayo, se muestran en la Tabla 164 - 1. Los valores se basan en un estudio entre laboratorios en el cual se seleccionaron cinco sitios de ensayo, obteniéndose las densidades húmedas mostradas en la segunda columna. Los valores se obtuvieron empleando ocho aparatos y ocho operarios. La densidad de cada sitio se midió tres veces con cada aparato.
- 12.1.2 *Precisión en la masa de agua por unidad de volumen* – Los criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados de la masa de agua por unidad de volumen obtenidos mediante este método de ensayo, se muestran en la Tabla 164 - 2. Los valores se basan en un estudio entre laboratorios en el cual se seleccionaron cinco sitios de ensayo, obteniéndose las masas de agua por unidad de volumen mostradas en la segunda columna. Los valores se obtuvieron empleando ocho aparatos y ocho operarios. La masa de agua por unidad de volumen de cada sitio se midió tres veces con cada aparato.
- 12.1.3 *Precisión en el contenido de agua (humedad)* – Los criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados de contenido de agua obtenidos mediante este método de ensayo, se muestran en la Tabla 164 - 3. Los valores se basan en un estudio entre laboratorios en el cual se seleccionaron cinco sitios de ensayo, obteniéndose los contenidos de agua mostrados en la segunda columna. Los valores se obtuvieron empleando ocho aparatos y ocho operarios. El contenido de agua de cada sitio se midió tres veces con cada aparato.

**12.2 Sesgo** – No hay valores de referencia para estos métodos de ensayo; por lo tanto, no se puede determinar el sesgo.

Tabla 164 - 1. Resultados del análisis estadístico (Densidad húmeda)

MATERIAL	PROMEDIO kg/m <sup>3</sup> (lb/pie <sup>3</sup> )	REPETIBILIDAD (DESV. ESTÁNDAR) kg/m <sup>3</sup> (lb/pie <sup>3</sup> )	REPRODUCIBILIDAD (DESV. ESTÁNDAR) kg/m <sup>3</sup> (lb/pie <sup>3</sup> )	95% REPETIBILIDAD LÍMITE EN LA DIFERENCIA ENTRE 2 RESULTADOS kg/m <sup>3</sup> (lb/pie <sup>3</sup> )	95% REPRODUCIBILIDAD LÍMITE EN LA DIFERENCIA ENTRE 2 RESULTADOS kg/m <sup>3</sup> (lb/pie <sup>3</sup> )
<b>Transmisión directa</b>					
ML	2084 (130.1)	7.4 (0.46)	12.3 (0.77)	21 (1.3)	34 (2.1)
CL	1837 (114.7)	5.4 (0.34)	10.6 (0.66)	15 (0.9)	30 (1.9)
SP	1937 (120.9)	4.2 (0.26)	11.0 (0.68)	12 (0.7)	31 (1.9)
<b>Retrodispersión</b>					
ML	1997 (124.6)	16.0 (1.00)	32.0 (2.00)	45 (2.8)	90 (5.6)

Tabla 164 - 2. Resultados del análisis estadístico (Masa de agua por unidad de volumen)

MATERIAL	PROMEDIO kg/m <sup>3</sup> (lb/pie <sup>3</sup> )	REPETIBILIDAD (DESV. ESTÁNDAR) kg/m <sup>3</sup> (lb/pie <sup>3</sup> )	REPRODUCIBILIDAD (DESV. ESTÁNDAR) kg/m <sup>3</sup> (lb/pie <sup>3</sup> )	95% REPETIBILIDAD LÍMITE EN LA DIFERENCIA ENTRE 2 RESULTADOS kg/m <sup>3</sup> (lb/pie <sup>3</sup> )	95% REPRODUCIBILIDAD LÍMITE EN LA DIFERENCIA ENTRE 2 RESULTADOS kg/m <sup>3</sup> (lb/pie <sup>3</sup> )
ML	313 (19.6)	5.7 (0.36)	8.1 (0.50)	16 (1.0)	23 (1.4)
CL	193 (12.1)	6.1 (0.38)	8.5 (0.53)	17 (1.1)	24 (1.5)
SP	320 (20.0)	4.3 (0.27)	10.3 (0.64)	12 (0.7)	19 (1.89)



Tabla 164 - 3. Resultados del análisis estadístico (Contenido de agua, %)

MATERIAL	PROMEDIO %	REPETIBILIDAD (DESV. ESTÁNDAR) %	REPRODUCIBILIDAD (DESV. ESTÁNDAR) %	95% REPETIBILIDAD LÍMITE EN LA DIFERENCIA ENTRE 2 RESULTADOS %	95% REPRODUCIBILIDAD LÍMITE EN LA DIFERENCIA ENTRE 2 RESULTADOS %
ML	17.7	0.39	0.59	1.1	1.7
CL	11.8	0.40	0.58	1.1	1.6
SP	19.8	0.32	0.51	0.9	2.3

### 13 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 6938 –10

#### ANEXO A (Aplicación obligatoria)

#### CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN DE LA DENSIDAD HÚMEDA

**A.1** *Calibración* – Los aparatos nucleares se deben calibrar inicialmente y después de reparaciones que afecten su geometría. Para encontrarse dentro de las tolerancias especificadas en los procedimientos descritos en el numeral A.2, se deben verificar las curvas o tablas de calibración o los factores de equivalencia, a períodos que no excedan de 12 meses. En cualquier instante en que las tolerancias no se cumplan, el aparato deberá ser calibrado para establecer nuevas curvas o tablas de calibración o factores de equivalencia. Si el propietario no establece un procedimiento de verificación, el aparato se deberá calibrar cada 12 meses o menos.

**A.1.1** La respuesta de calibración del aparato debe ser de  $\pm 16 \text{ kg/m}^3$  ( $\pm 1.0 \text{ lb/pe}^3$ ) en el bloque de material estándar (referencia estándar) sobre el cual fue calibrado. Esta calibración puede ser hecha por el fabricante, el usuario, o un distribuidor independiente. La respuesta de los instrumentos nucleares está influenciada por la composición química de los materiales medidos. Esta respuesta debe ser tenida en

cuenta cuando se va a establecer la densidad del bloque estándar. El método de calibración usado debe ser capaz de generar una curva general que abarque el rango completo de densidad de los materiales que van a ser ensayados. La densidad de los bloques estándar se debe determinar de manera que la desviación estándar de los resultados de las medidas no exceda del 0.2 % de la densidad medida del bloque.

- A.1.2** Las densidades de los bloques usados para establecer o verificar la calibración se deben verificar o restablecer a períodos que no superen 5 años. Los valores de densidad de los bloques que sean susceptibles a cambios de densidad durante el transcurso del tiempo (suelo, concreto, roca sólida) se deben restablecer, cuando menos, cada 12 meses.

*Nota A.1: Los cambios en las condiciones ambientales o en las localizaciones de los bloques usados para calibrar o verificar la calibración de los medidores nucleares, pueden afectar sus resultados. En consecuencia, se debe tratar de asegurar condiciones uniformes siempre que se realicen o verifiquen las calibraciones.*

- A.1.3** En cada bloque de densidad se deben tomar suficientes datos para asegurar que la precisión de conteo del instrumento sea, al menos, la mitad de la precisión requerida para uso en el campo, asumiendo una medida de campo de un minuto de duración y una de cuatro minutos para la calibración, o una relación equivalente. Los datos pueden ser presentados en forma gráfica, tablas, coeficientes de ecuaciones, o almacenados en la celda de medición, para permitir la conversión de cuentas de velocidad a densidad del material.
- A.1.4** El método y los procedimientos de ensayo utilizados para establecer los datos del conteo de calibración deben ser los mismos que se usan para obtener los datos de conteo de campo.
- A.1.5** El tipo de material y la densidad real o la densidad asignada al bloque estándar usado para verificar la calibración del instrumento, se deben consignar como parte de la información de calibración. Si la densidad real o asignada del bloque varía con la profundidad de la medición, entonces los datos de densidad para cada profundidad medida deberán ser consignados como parte de la información de calibración.
- A.1.6** Los bloques de calibración deben ser lo suficientemente grandes para que la velocidad de conteo no cambie, si se alarga alguna de sus dimensiones.

*Nota A.2: Dimensiones de aproximadamente 610 mm de largo por 430 mm de ancho han resultado satisfactorias. Para el método de retrodispersión, un espesor mínimo de 230 mm (9") resulta apropiado, mientras que para los de transmisión directa, el espesor debe ser, cuando menos, 50 mm (2") mayor que la máxima penetración prevista para la sonda. Se debe considerar una superficie mayor para los equipos del modo retrodispersión/colchón de aire. Para bloques con ancho o longitud menor que los indicados, se deben seguir las recomendaciones de su fabricante, para su adecuada instalación y uso. Los bloques que han demostrado ser más apropiados para la calibración son los de aluminio, magnesio, aluminio/magnesio, granito y piedra caliza. Estos bloques se han usado en combinación unos con otros y con otros bloques preparados, para producir una calibración precisa y confiable.*

- A.2 Verificación** - El método utilizado para la verificación debe ser capaz de confirmar la exactitud de la curva general de calibración que representa el rango de densidad de los materiales que serán ensayados en el campo. El proceso de verificación y las tolerancias resultantes sobre las profundidades a las cuales se va usar el aparato, se deben anotar y documentar de manera formal. Si el proceso de verificación indica una variación más allá de los límites tolerados, se deberán establecer nuevas curvas, tablas o coeficientes de calibración.
- A.2.1** La respuesta del aparato en la verificación se debe encontrar en el entorno de  $\pm 32 \text{ kg/m}^3$  ( $\pm 2.0 \text{ lb/pe}^3$ ) sobre el bloque de densidad establecida, a cada profundidad de calibración.
- A.2.2** Usando el procedimiento descrito en los numerales C.1.1 o C.1.2 del Anexo C, se debe asegurar una precisión al menos igual a la mitad de la requerida para uso en el campo, asumiendo un uso de 1 minuto durante una medida de campo y un uso de 4 minutos durante la calibración, o una relación equivalente.
- A.2.3** La verificación de la calibración del aparato se puede realizar en los mismos bloques usados para la calibración, o en bloques especialmente preparados.
- A.2.4** Se pueden emplear bloques preparados de suelo, roca sólida, concreto y materiales de ingeniería, que tengan características de uniformidad reproducible, pero se debe tener cuidado para minimizar sus cambios de humedad y densidad durante el tiempo.
- A.2.5** Los valores de densidad de los bloques preparados se deben determinar de manera que la desviación estándar estimada de los resultados de las medidas no exceda de 5 % del valor de densidad medido.

- A.2.6** Los valores de densidad de los bloques preparados de suelo, roca sólida o concreto que tengan el potencial de sufrir modificaciones de densidad o humedad, se deben restablecer o verificar a intervalos que no excedan de 12 meses.
- A.2.7** El método usado para restablecer o verificar la densidad de los bloques se debe incluir como parte de los datos de verificación.
- A.2.8** Todos los densímetros nucleares de deben verificar o calibrar con una frecuencia mínima de 12 meses.

## **ANEXO B** **(Aplicación obligatoria)**

### **CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA**

---

- B.1** *Calibración* – Los aparatos se deben calibrar inicialmente y después de reparaciones que afecten su geometría. Para encontrarse dentro de las tolerancias especificadas en los procedimientos descritos en el numeral B.2, se deben verificar las curvas o tablas de calibración o los factores de equivalencia, a períodos que no excedan de 12 meses. En cualquier instante en que las tolerancias no se cumplan, el aparato deberá ser calibrado para establecer nuevas curvas o tablas de calibración o factores de equivalencia. Si el propietario no establece un procedimiento de verificación, el aparato se deberá calibrar cada 12 meses o menos.
- B.1.1** La respuesta de calibración del medidor debe estar dentro de  $\pm 16 \text{ kg/m}^3$  ( $\pm 1 \text{ lb/pe}^3$ ) sobre el bloque en el cual se calibró el aparato. Esta calibración puede ser hecha por el fabricante del aparato, por el usuario o por un distribuidor independiente. El bloque usado para la calibración debe ser capaz de producir una curva general que cubra el rango total de los contenidos de agua de los materiales que serán ensayados en el terreno. La curva de calibración se puede establecer usando conteos y contenidos de agua de bloques estándar, información de una curva previa de fábrica, o a partir de datos históricos. Debido al efecto de la composición química, la calibración suministrada con el aparato por el fabricante puede no resultar aceptable para todos los materiales. Ella será exacta para la sílice y el agua; por lo tanto, la calibración se debe verificar y ajustar, de ser necesario, en acuerdo con lo indicado en el numeral B.2

- B.1.2** Se debe restablecer o verificar el contenido de agua de los bloques usados para calibrar o verificar las calibraciones, con la frecuencia que recomienden los fabricantes de dichos bloques. La humedad de los bloques preparados con materiales que tengan la posibilidad de cambiar su densidad o su humedad durante el tiempo, tales como suelo, concreto o roca sólida, se debe restablecer verificar a intervalos menores de 12 meses.
- B.1.3** Todos los bloques de calibración deben ser lo suficientemente grandes para no cambiar la velocidad de conteo observada, si se alarga alguna de sus dimensiones.

*Nota B.1: Dimensiones de aproximadamente 610 mm de largo por 460 mm de ancho y por 360 mm de profundidad (aproximadamente 24" x 18" x 14") han sido satisfactorias. Para bloques con ancho o longitud menor que los indicados, se deben seguir las recomendaciones de su fabricante, para su adecuada instalación y uso.*

- B.1.4** Se prepara un bloque homogéneo de materiales hidrogenados que tenga un contenido de agua equivalente, determinado por comparación (usando un instrumento nuclear) con una arena de sílice saturada estándar. Los bloques metálicos de magnesio y aluminio usados para la calibración de la densidad húmeda son adecuados como patrones de contenido de agua igual a cero. Para altas masas de agua por unidad de volumen del bloque, resulta conveniente un bloque de capas alternadas de aluminio o magnesio y polietileno.
- B.1.5** Se preparan recipientes de material compactado con un contenido de agua determinado por secado en el horno (norma INV E-122) y una densidad húmeda calculada a partir de la masa del material y de las dimensiones internas del recipiente. El contenido de agua se puede calcular como sigue:

$$M_m = \frac{\rho \times w}{100 + w} \quad [164.7]$$

Donde:  $M_m$ : Contenido de agua,  $\text{kg/m}^3$  o  $\text{lbm/pe}^3$ ;

$w$ : Contenido de agua en porcentaje de masa seca;

$\rho$ : Densidad húmeda (total),  $\text{kg/m}^3$  o  $\text{lb/pe}^3$ .

- B.1.6** Si ninguno de los bloques de calibración anteriores está disponible, el medidor nuclear se puede calibrar usando un mínimo de tres sitios de prueba, seleccionados en un área de un proyecto de compactación donde se haya colocado un material homogéneo con diferentes contenidos de agua. Los sitios de prueba deberán representar el rango de contenidos de agua sobre el cual se va a usar la calibración. Se deberán efectuar, al menos, tres réplicas de mediciones nucleares en cada sitio de ensayo. Se deberá verificar la densidad en cada punto, haciendo determinaciones con el equipo calibrado según los procedimientos descritos en esta norma, en acuerdo con las normas INV E-161 ó INV E-162. El contenido de agua de cada prueba de densidad se deberá determinar por medio de la norma INV E-122. El valor promedio de las lecturas de las réplicas se usa como valor del punto de calibración para cada sitio.
- B.2** *Verificación* – El método utilizado para la verificación debe ser capaz de confirmar la exactitud de la curva general de calibración que representa el rango de contenidos de agua de los materiales que serán ensayados en el campo. El proceso de verificación y las tolerancias resultantes obtenidas, se deben anotar y documentar de manera formal. Si el proceso de verificación indica una variación más allá de los límites tolerados, se deberán establecer nuevas curvas, tablas o coeficientes de calibración.
- B.2.1** Una calibración existente se verifica efectuando un número suficiente de conteos sobre uno o más bloques con un contenido de agua conocido, para asegurar la exactitud de la calibración en un rango de  $\pm 16 \text{ kg/m}^3$  ( $\pm 1 \text{ lb/pe}^3$ ). Los bloques para la medida del contenido de agua se deben preparar de acuerdo con lo indicado en los numerales B.1.4 y B.1.5.
- B.2.2** Se debe tomar un número suficiente de datos para asegurar una precisión al menos igual a la mitad de la requerida para uso en el campo, asumiendo un uso de 1 minuto durante una medida de campo y un uso de 4 minutos durante la calibración, o una relación equivalente.
- B.2.3** Para verificar la calibración, se pueden usar tanto los bloques de calibración utilizados para establecer los parámetros de calibración, como bloques preparados específicamente para esta labor.

- B.2.4** Se pueden usar bloques preparados que tengan características de uniformidad reproducible, pero se debe tener cuidado de minimizar sus cambios de humedad y densidad durante el tiempo.
- B.2.5** El contenido de agua asignado a los bloques usados para la verificación del instrumento se debe consignar como parte de los datos de verificación.
- B.2.6** Todos los medidores nucleares de deben verificar o calibrar con una frecuencia mínima de 12 meses.

## ANEXO C (Aplicación obligatoria)

### PRECISIÓN DEL APARATO

---

**C.1** La precisión del conteo del aparato se define como el cambio en densidad o contenido de agua que se presenta debido a un cambio de la desviación estándar en el conteo, causado por el debilitamiento de la fuente radiactiva. Se deben anotar la densidad del material y el tiempo del conteo.

**C.1.1** *Precisión del equipo – Método de la pendiente:*

**C.1.1.1** La precisión del equipo (P) se determina a partir de la pendiente de la curva de calibración (S) y de la desviación estándar ( $\sigma$ ) de las señales (rayos gamma o neutrones detectados) en cuentas por minutos (cpm), como sigue:

$$P = \frac{\sigma}{S} \quad [164.8]$$

Donde: P: Precisión;

$\sigma$ : Desviación estándar, cpm;

S: Pendiente, cpm/kg/m<sup>3</sup> (cpm/lbm/pie<sup>3</sup>).

*Nota C1: Las cuentas desplegadas por el aparato deben tener una escala apropiada. Se debe contactar al fabricante para obtener un factor apropiado de pre-escala.*

**C.1.2** *Precisión del equipo – Método repetitivo:*

- C.1.2.1** Se determina la desviación estándar de un mínimo de 20 lecturas repetitivas de un minuto cada una (el aparato no se debe mover luego de ser asentado para el primer conteo). Esta desviación estándar es la precisión el aparato.

**ANEXO D**  
**(Aplicación obligatoria)****AJUSTES AL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL TERRENO**

---

- D.1** Se debe verificar la calibración, antes de realizar ensayos sobre materiales que sean marcadamente diferentes de aquellos utilizados en la obtención o ajuste de la calibración previa. La cantidad de agua se debe encontrar en un rango de  $\pm 2$  % del establecido como óptimo para la compactación de estos materiales. Se deberá determinar el contenido de agua, w. Se puede utilizar un horno microondas o apelar al calentamiento directo para secar los materiales que no sean sensibles a la combustión de materia orgánica, en adición al método contemplado en la norma INV E-122. Se recomienda realizar un mínimo de tres comparaciones y usar como factor de corrección el promedio de las diferencias observadas.
- D.2** Los recipientes con material compactado tomado del sitio se deberán preparar como se menciona en el numeral B.1.5 del Anexo B.
- D.3** Los sitios de ensayos o el material compactado se deben escoger de acuerdo con lo indicado en el numeral B.1.6 del Anexo B.
- D.4** El método y los procedimientos de ensayo usados para obtener los conteos para determinar el error, deben ser iguales a los que se emplearán para medir el contenido de agua del material que se va a ensayar.
- D.5** El valor medio de la diferencia entre el contenido de agua de las muestras de ensayo tomadas como se indica en los numerales B.1.5 y B.1.6 del Anexo B y los valores medidos con el aparato nuclear, se debe usar como un factor de corrección de las medidas tomadas en el campo. Muchos aparatos que utilizan un microprocesador pueden tener involucrado un factor de corrección que es establecido por los valores relativos del contenido de agua como un porcentaje de la densidad seca, eliminando así la necesidad de determinar la diferencia en las unidades de masa de agua.



# DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD Y EL PESO UNITARIO DE SUELOS Y ROCAS EN EL TERRENO MEDIANTE REEMPLAZO CON ARENA EN UN POZO DE ENSAYO

INV E – 165 – 13

## 1 OBJETO

---

- 1.1** Esta norma se usa para determinar la densidad y el peso unitario de suelos y rocas en el sitio, empleando una arena calibrada y un dispositivo para verterla, con los cuales se halla el volumen de un pozo de ensayo. En esta norma, el término “roca” se emplea específicamente para referirse a materiales que contienen partículas de más de 75 mm (3”).
- 1.2** Los métodos de ensayo incluidos en esta norma resultan apropiados para orificios de 0.03 a 0.17 m<sup>3</sup> (1 a 6 pies<sup>3</sup>). En general, los materiales ensayados deben tener un tamaño máximo de partícula comprendido entre 75 y 125 mm (3 y 5”).
- 1.2.1** Aunque este método se puede usar si el orificio es de mayor volumen y las partículas tienen un mayor tamaño máximo (Ver Anexo B), en tal caso es preferible el empleo de la norma ASTM D 5030.
- 1.2.2** Los métodos de ensayo descritos en las normas INV E–161 e INV E–162 se deben usar, generalmente, para determinar el volumen de orificios de menos de 0.03 m<sup>3</sup> (1 pie<sup>3</sup>).
- 1.3** Esta norma incluye dos métodos de ensayo:
- 1.3.1** *Método A* – Densidad y peso unitario in-situ del material total (Sección 8).
- 1.3.2** *Método B* – Densidad y peso unitario in-situ de la fracción de control (Sección 9).
- 1.4** Selección del método de prueba:
- 1.4.1** El Método A se usa cuando se va a determinar el peso unitario de todo el material in-situ. También, se puede emplear para determinar el porcentaje de compactación o la densidad relativa, cuando el tamaño máximo de partícula del material ensayado en el terreno no excede el

máximo permitido en el ensayo de laboratorio (normas INV E-141 e INV E-142). El peso unitario seco máximo determinado en el laboratorio se puede corregir por el efecto de la presencia de sobretamaños de acuerdo con la norma INV E-143, con sujeción a las limitaciones indicadas en ella.

**1.4.2** El método B se usa cuando se van a determinar el porcentaje de compactación o la densidad relativa y el material en el terreno contiene partículas mayores de las admitidas por el ensayo de compactación en el laboratorio o cuando la norma INV E-143 no se puede aplicar al ensayo de compactación en el laboratorio. En este caso, se considera que el material está constituido por dos fracciones o porciones. El material proveniente del ensayo en el terreno se divide físicamente en una fracción de control y una de sobretamaños, a partir de un tamiz de tamaño designado. Se calcula el peso unitario de la fracción de control y se compara con el (los) establecido (s) en las pruebas de laboratorio.

**1.4.2.1** Debido a la posibilidad de que se creen bajas densidades cuando hay interferencia de partículas (Ver norma INV E-143), no se debe asumir que el porcentaje de compactación de la fracción de control representa el porcentaje de compactación del material total del terreno.

**1.4.3** Normalmente, la fracción de control corresponde al material que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4) cuando se trata de suelos cohesivos que no permiten el drenaje libre, y al material que pasa el tamiz de 76.2 mm (3") cuando se trata de materiales no cohesivos que permiten el drenaje. A pesar de que también se emplean otros tamaños para la fracción de control (3/8", 3/4"), los métodos de ensayo descritos en esta norma usan solamente los tamices de 76.2 mm (3") y 4.75 mm (No. 4), por claridad.

**1.5** Cualquier material que pueda ser excavado con herramientas manuales es susceptible de ser ensayado, siempre y cuando los vacíos en su masa sean suficientemente pequeños (salvo que se use un revestimiento protector interior) para prevenir que la arena usada en el ensayo penetre dentro de ellos. El material que se ensaye debe poseer la cohesión o trabazón de partículas suficiente para mantenerse estable durante la excavación del pozo y a través de todo el ensayo. También, debe tener la firmeza suficiente para no deformarse o convertirse en un lodazal, debido a las presiones ejercidas durante la excavación del hueco y el vertimiento de la arena.

- 1.6** Los métodos de ensayo descritos en esta norma están limitados, generalmente, a materiales parcialmente saturados y no son recomendables sobre materiales blandos o friables (que se desmenuzan con facilidad) o en una condición de humedad tal, que el agua se filtre en el pozo. La exactitud de los métodos de ensayo se puede ver afectada por materiales que se deforman con facilidad o que pueden experimentar cambios de volumen al ser excavados debido a la permanencia o circulación de personas cerca del orificio durante la ejecución del ensayo.

## 2 DEFINICIONES

---

- 2.1** *Fracción de control* – Porción de una muestra de suelo compuesta por partículas que pasan un tamiz de un tamaño designado. Esta fracción se usa para comparar los pesos unitarios obtenidos en el terreno con los pesos unitarios hallados en el laboratorio. El tamiz designado para control depende del método usado en el ensayo de compactación de laboratorio.
- 2.2** *Sobretamaños* – Porción de la muestra de suelo cuyas partículas tienen tamaño superior a la abertura del tamiz designado.

## 3 RESUMEN DEL MÉTODO

---

- 3.1** Se prepara la superficie del terreno en el sitio elegido para el ensayo y, a continuación, se coloca y fija en posición una plantilla (marco metálico). Se determina el volumen del espacio comprendido entre la parte superior de la plantilla y la superficie del terreno llenándolo con una arena calibrada, usando un recipiente de vertimiento. Se determina la masa de la arena requerida para llenar dicho espacio. Se retira la arena vertida. Se excava el material comprendido entre los bordes de la plantilla para formar un pozo. Se llena el pozo con la arena calibrada y se determinan la masa de la arena vertida y el volumen del pozo. Se calcula la densidad húmeda del material in-situ a partir de la masa del material removido y del volumen del pozo de ensayo. Se determina la humedad del material y luego se calcula su densidad seca en el terreno.

## 4 IMPORTANCIA Y USO

---

- 4.1** Estos métodos se usan para determinar el peso unitario in-situ de materiales compactados en la construcción de terraplenes, otros rellenos de carreteras y rellenos estructurales. Para el control de trabajos de construcción, estos métodos se suelen usar como base para la aceptación de material compactado a una densidad especificada o a un porcentaje en relación con un peso unitario máximo de control (como el establecido en las normas INV E-141 e INV E-142), sujeto a las limitaciones indicadas en el numeral 1.4.
- 4.2** Estos métodos de ensayo se pueden emplear, también, para determinar la densidad in-situ de los materiales (suelos, agregados, mezclas de ellos, inclusive con sobretamaños) de los bancos de préstamo.

## 5 EQUIPO Y MATERIALES

---

- 5.1** *Balanzas* – Una, para determinar la masa de la arena calibrada y del suelo excavado; su capacidad debe ser de 20 kg (44 lb) y su aproximación de lectura de 1 g (0.002 lb). Otra, de capacidad mínima de 1000 g (2.2 lb) y lectura con aproximación a 0.1 g (0.0002 lb), para determinar la humedad del material que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4).
- 5.2** *Horno* – Con control termostático, preferiblemente de tiro forzado, que pueda mantener una temperatura de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$ .
- 5.3** *Tamices* – De 76.2 mm (3") y 4.75 mm (No. 4).
- 5.4** *Plantilla (marco metálico)* – Cuadrada o circular, para servir de marco a la excavación. Sus dimensiones, forma y material varían según el tamaño del pozo a excavar. De todas maneras, debe poseer la rigidez suficiente para no deflectarse durante el ensayo.

*Nota 1: La plantilla mostrada en la Figura 165 - 1 representa un diseño que ha mostrado ser satisfactorio para este propósito.*

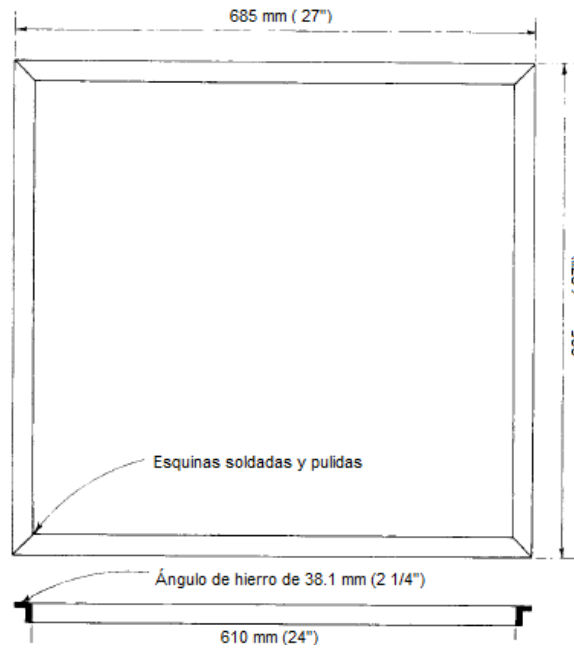


Figura 165 - 1. Plantilla metálica típica

- 5.5** *Revestimiento de protección* – De un material adecuado, plástico por ejemplo, que tenga la flexibilidad suficiente para acomodarse perfectamente al contorno del pozo. Su espesor debe ser de, aproximadamente, 0.0125 mm (0.0005") y su tamaño debe ser tal, que se pueda extender 30 cm (1 pie) hacia el exterior del borde de la plantilla.
- 5.6** *Recipientes para verter la arena (Ver Figura 165 - 2)* – Pueden ser de muchas clases. Lo importante es que tengan un conducto de salida (pico) que llegue dentro del orificio, de manera que la distancia de caída desde el extremo del conducto a la superficie de la arena se pueda mantener en unos 50 mm (2") durante el desarrollo del ensayo. El diámetro interno del conducto debe ser suficiente para permitir que la arena fluya sin obstrucción alguna.

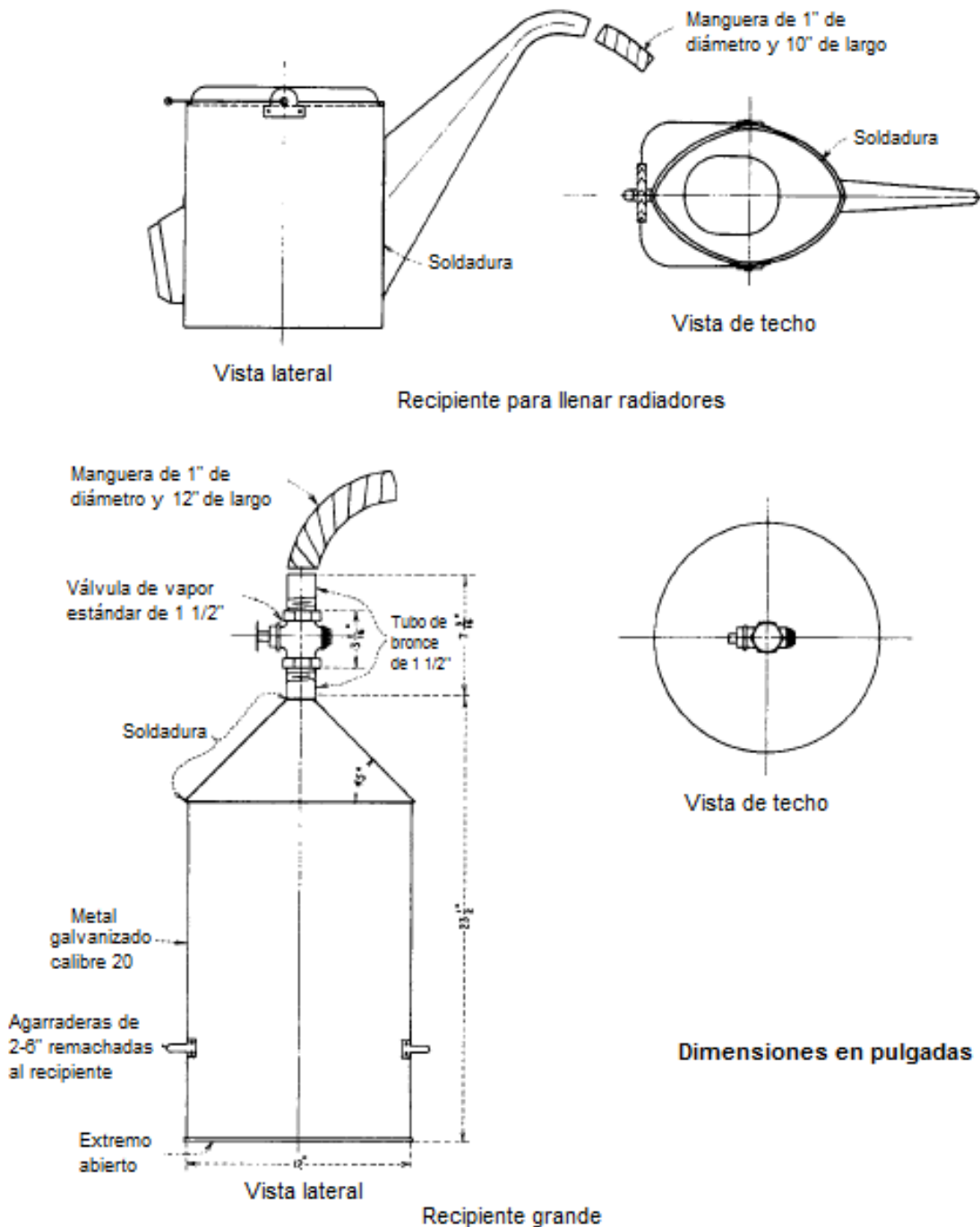


Figura 165 - 2. Modelos de recipientes para verter la arena

- 5.7 Regla metálica** – De unos 50 mm (2") de altura, de no menos de 3 mm (1/8") de espesor y con una longitud igual a 1.5 veces el lado o diámetro de la plantilla. Se usa para emparejar la arena que rebose sobre la plantilla. Debe poseer una rigidez suficiente para no sufrir pandeo durante el emparejamiento de la arena.

- 5.8** *Arena* – Debe ser limpia, seca, uniforme, sin cementación, durable y de flujo libre. Su gradación, características físicas, selección y almacenamiento, deben cumplir los requisitos indicados en la norma INV E–161, salvo que el tamaño máximo puede ser de 4.75 mm (No. 4).
- 5.8.1** Si los métodos de ensayo de esta norma se usan en pozos de más de 0.17 m<sup>3</sup> (6 pies<sup>3</sup>), se puede usar un material de tamaño único de mayor tamaño, que sea prácticamente libre de finos (por ejemplo, una grava fina redondeada de tamaño uniforme)
- 5.9** *Elementos misceláneos* – Palas para preparar la superficie de ensayo, martillo para asentar la plantilla, brochas de diferentes tamaños, picos, cinceles, barras, cuchillos y cucharones para formar el pozo, recipientes con tapa u otros recipientes para guardar la muestra y la arena, sin cambio de humedad; bolsas para recoger la arena de desperdicio, tela para recoger el exceso de arena o suelo, y recipientes de metal o porcelana para el secado de las muestras destinadas a la verificación de la humedad.

## 6 RIESGOS

---

### 6.1 *Precaución:*

- 6.1.1** Estos métodos de ensayo pueden incluir el manejo de elementos pesados.
- 6.1.2** Algunas arenas pueden contener o producir polvo, por lo que se requieren tomar precauciones para la respiración del operario, durante su mezclado y vertimiento.

### 6.2 *Advertencias:*

- 6.2.1** Se debe identificar los materiales que fluyan o se deformen durante el ensayo, para adoptar las medidas convenientes.
- 6.2.2** No se debe permitir el movimiento de equipo pesado en inmediaciones del sitio de ensayo durante la determinación del volumen del pozo.
- 6.2.3** Pueden surgir errores en el cálculo del peso unitario del material, debido a la influencia de una humedad excesiva del mismo. Estos errores pueden ser significativos en materiales de alta permeabilidad,

como arenas y gravas, cuando el nivel freático se encuentra cerca o bajo el fondo de la excavación. También, se pueden producir por el cambio que sufre la densidad de la arena calibrada, a medida que ella se humedece a causa de la capilaridad o de la presencia de agua libre durante la ejecución del ensayo. El problema se hace evidente cuando al remover la arena del pozo se observa arena húmeda en los costados o el fondo de éste. Cuando se usa el plástico de protección, las fuerzas de subpresión del agua libre también pueden afectar la determinación del volumen.

- 6.2.4** Se deben proteger el área y el equipo de ensayo de las inclemencias del clima (como la lluvia o el viento). Si se requiere conocer la humedad del material in-situ, puede ser necesario proteger el área de los rayos del sol.
- 6.2.5** Se puede requerir un gran número de recipientes durante la ejecución de este ensayo; por lo tanto, ellos deberán encontrarse adecuadamente etiquetados e identificados para evitar confusiones.
- 6.2.6** La masa total de la arena calibrada y/o de la muestra de suelo, pueden exceder la capacidad de la balanza grande, lo que hace necesario pesar por fracciones. Se deberá tener el cuidado necesario para no perder material y obtener correctamente la masa total.
- 6.2.7** Los recipientes usados para verter la arena que contienen válvulas, proporcionan un flujo consistente de arena entre un ensayo y otro, solamente si la válvula se abre completamente todas las veces. Si la válvula se abre solo parcialmente, las características del flujo de arena del dispositivo se alteran sustancialmente. Cada dispositivo tiene unas características propias que pueden hacer que la arena fluya de manera diferente. Los valores de calibración de la arena son afectados por estas características de flujo. Por lo tanto, los valores de calibración no son intercambiables, ni siquiera entre aparatos que puedan parecer idénticos.
- 6.2.8** No se debe permitir que los dispositivos de vertimiento pierdan arena durante el ensayo. Se debe mantener constante el tamaño del chorro de arena que sale del dispositivo. Si la capacidad del recipiente es muy poca para llenar el pozo, se podrán usar dos o más cargas para llenarlo. El chorro de arena se debe suspender cuando el recipiente que la contiene tenga llena menos de una cuarta parte de su volumen y haya



riesgo de que el tamaño del chorro disminuya. En este caso, se vuelve a llenar el recipiente y se continúa vertiendo la arena.

- 6.2.9** Los recipientes de vertimiento permiten una distancia de caída de la arena muy variada, la cual se debe controlar si se quiere que los resultados sean consistentes. Se recomienda que la distancia desde el extremo de salida del conducto de salida del recipiente hasta la superficie de la arena que está siendo vertida, sea de 50 mm (2"). Las variaciones de esta altura afectan notoriamente los resultados. La distancia de caída es afectada directamente por la habilidad del operario para sostener el dispositivo y para calcular la distancia de caída del chorro, en especial cuando el dispositivo está lleno de arena, teniendo en cuenta que el dispositivo puede tener una masa inicial de 20 kg (50 lb) o más, y que la masa se va reduciendo durante el desarrollo del ensayo. Los valores de calibración no son intercambiables entre aparatos y, posiblemente, ni siquiera entre operarios. Cada operario debe demostrar que puede duplicar los valores de calibración de un aparato antes de usarlo, preferiblemente dentro del 1 % de del valor promedio de un operador experimentado. De otro modo, es necesario hacer una calibración independiente para cada operario.

## **7 CALIBRACIÓN Y NORMALIZACIÓN**

---

- 7.1** La calibración de la arena se describe en el Anexo A.

## **8 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO PARA EL MÉTODO A – DENSIDAD Y PESO UNITARIO IN-SITU DEL MATERIAL TOTAL**

---

- 8.1** Se debe emplear el Método A para determinar el peso unitario total (Ver numeral 1.4).
- 8.2** Se determina el volumen recomendado de la muestra y se elige la plantilla metálica apropiada para la gradación anticipada del material, de acuerdo con lo que se indica en el Anexo B. Se ensambla el resto del equipo requerido.
- 8.3** Se determina la masa de cada combinación de recipiente vacío, tapa y revestimiento de protección (si se usa) que contendrán el material excavado.

Los recipientes se deberán numerar y marcar de acuerdo con el uso que van a tener. Se anota la masa sobre el recipiente o en una lista elaborada al efecto.

**8.4** Se prepara el volumen de arena que se va a usar.

**8.4.1** Se requieren dos juegos de arena calibrada. La determinación del volumen del pozo de ensayo precisa dos cargas diferentes de arena para (1) medir la masa de arena usada para llenar el espacio entre la superficie del suelo y el borde la plantilla metálica, y (2) medir la masa de arena utilizada para llenar el pozo hasta el borde superior de la plantilla. La diferencia entre los dos valores, da la masa de arena que ocupó el pozo de ensayo.

**8.4.2** Se estiman la masa de arena calibrada que se necesita y el número de recipientes con arena necesarios para llenar el espacio entre la superficie del suelo y el borde la plantilla metálica. Esta masa se estima multiplicando el volumen del espacio de la plantilla por la densidad de la arena calibrada. Se numeran los recipientes que se van a utilizar y se marcan de acuerdo con el uso que tendrán (por ejemplo, con letreros que digan "corrección por la plantilla"). Se llenan los recipientes con arena. Se determinan y anotan, en una lista separada, las masas de los recipientes llenos de arena.

**8.4.3** A partir del volumen anticipado del pozo de ensayo, se estima la cantidad de arena calibrada que se necesita para llenarlo y se aumenta dicha cantidad en 25 %, con el fin de asegurar que se dispondrá de un suministro suficiente de arena en el sitio del ensayo. Se determina el número de recipientes requeridos, se numeran y se marcan de acuerdo con el uso que tendrán (por ejemplo, con letreros que digan "pozo de ensayo"). Se llenan los recipientes con arena. Se determinan y anotan, en otra lista separada, las masas de los recipientes llenos de arena.

**8.5** Se escoge un área representativa para la ejecución del ensayo, evitando sitios donde la remoción de partículas de gran tamaño pueda socavar el apoyo de la plantilla.

**8.6** Se prepara la superficie del área escogida para el ensayo.

**8.6.1** Se remueve todo material suelto del área donde se vaya a colocar la plantilla. Se prepara la superficie expuesta, de manera que quede firme y a nivel.

- 8.6.2** Nadie se debe parar encima del sitio escogido para el ensayo. Se deberá instalar una plataforma de trabajo, cuando se sospeche que los materiales a ensayar pueden fluir o deformarse.
- 8.7** Se coloca y asienta la plantilla sobre la superficie preparada.
- 8.7.1** Se debe usar un martillo para asentar firmemente la plantilla y evitar su movimiento mientras se realiza el ensayo. Se pueden usar clavos, pesas u otros medios para mantenerla en posición.
- 8.7.2** Se remueve cualquier material que se suelte mientras se esté colocando y asentando la plantilla, teniendo cuidado de no dejar ningún espacio vacío bajo el marco de ella. Si llegan a quedar vacíos allí, se deberán llenar con suelo plástico, plastilina u otro material apropiado, con tal de que dicho material no vaya a ser excavado y computado como parte del material extraído del pozo.
- 8.8** Se determina la masa de arena requerida para llenar el espacio entre la superficie del suelo y el borde superior de la plantilla.
- 8.8.1** Se deben tener en cuenta las irregularidades que presente el suelo dentro de la plantilla. Para hacerlo, se determina la masa de arena requerida para llenar el espacio entre la superficie del suelo y el borde superior de la plantilla.
- 8.8.2** Se recomienda colocar sobre la plantilla una tela grande, con un orificio algo mayor que el hueco de la platilla, para facilitar la ubicación y recolección de cualquier exceso de arena y/o material suelto.
- 8.8.3** Se coloca sobre la plantilla un plástico de espesor aproximado de 0.013 mm y se le da forma manualmente para conformarlo con la superficie irregular del suelo y la plantilla. El plástico debe tener un tamaño suficiente para que sus bordes lleguen 30 cm (1 pie) más allá del borde de la plantilla. El plástico no se debe colocar muy tenso, pero tampoco puede contener muchos dobleces o arrugas (Figura 165 - 3).

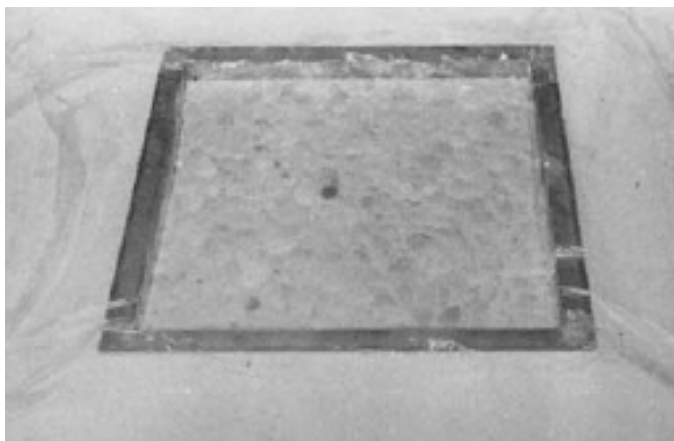


Figura 165 - 3. Lámina de plástico colocada sobre la plantilla

- 8.8.4** Se vierte la arena calibrada sobre el plástico dentro de la plantilla, usando el recipiente de vertimiento (Figura 165 - 4). Se sobrellena ligeramente la plantilla (Ver numerales 6.2.7 a 6.2.9). Toda arena que sobre dentro del recipiente de vertimiento se lleva al recipiente de almacenamiento.



Figura 165 - 4. Vertimiento de arena dentro de la plantilla

- 8.8.5** Empleando la regla (Ver numeral 5.7), se nivela cuidadosamente la arena a través de los bordes de la plantilla. Los excesos de arena se devuelven al recipiente de almacenamiento. Se debe tener cuidado para no perder ninguna porción de la arena de exceso.
- 8.8.6** Se remueve la arena calibrada que ocupó la plantilla y, si se desea recuperarla, se coloca en uno de los recipientes marcados especialmente. En seguida, se retira el plástico.

**8.9** Se excava el pozo de ensayo.

**8.9.1** Se excava la porción central del pozo, empleando herramientas manuales (cincel, cuchillo, barra, etc.).

**8.9.1.1** No se debe permitir la circulación de equipo pesado en vecindades del área de ensayo, para evitar que ocurra alguna deformación del pozo.

**8.9.2** Todo el material excavado del pozo se coloca en recipientes (Figura 165 - 5), evitando cualquier pérdida de material.



Figura 165 - 5. Excavación del pozo de ensayo

**8.9.3** Las pérdidas de humedad del material se evitan manteniendo el recipiente cubierto cuando no se esté colocando suelo dentro de él. El material se debe introducir en bolsas plásticas, antes de colocarlo en los recipientes.

**8.9.4** Se cortan cuidadosamente los lados de la excavación, de manera que la forma del pozo se ajuste lo mejor posible a la del orificio de la plantilla. Se debe evitar la alteración de la plantilla o del material que se encuentra debajo o por fuera de su marco.

**8.9.5** Se lleva la excavación hasta la profundidad requerida. Si durante la excavación se encuentran partículas cuyo tamaño es una y media veces o más que el tamaño máximo de partícula utilizado para establecer las dimensiones y el volumen mínimo del pozo (Ver Anexo B), dichas partículas se disponen por separado y se identifican adecuadamente. Su masa y su volumen se deberán determinar y sustraer luego de la

masa y del volumen de todo el material removido del pozo. Dichas partículas se deberán considerar como “sobretamaños” y se seguirá el protocolo indicado en la Sección 9, excepto que no se requiere calcular el peso unitario “total” (el cual debería incluir las partículas de mayor tamaño). Los valores determinados de la “fracción de control” se convierten, entonces, en los valores para el material total del pozo. Si se encuentra que la proporción de partículas de tamaño excesivo alcanza el 5 % o más de la masa del material excavado, se deberá repetir el ensayo, excavando un pozo de mayor volumen, en acuerdo con lo indicado en el Anexo B.

**8.9.6** Los lados del pozo deberán tener una ligera pendiente hacia el interior. Los materiales que exhiban poca cohesión pueden requerir la excavación de un pozo con una forma piramidal o cónica (Ver Anexo B).

**8.9.7** El perfil del pozo terminado debe ser tal, que la arena vertida pueda llenar completamente la excavación. Las paredes deberán ser tan lisas como resulte posible y libres de cavidades y salientes o cualquier otro obstáculo que interfiera con el libre flujo de la arena.

**8.9.8** Se retira del fondo del pozo todo material que se encuentre suelto.

**8.10** Se determina el volumen del pozo.

*Nota 2: Puede ser necesaria la colocación de una lámina plástica de revestimiento para prevenir la migración de arena hacia los vacíos del material in-situ. Sus características deberán ser las mencionadas en el numeral 5.5 y su colocación dentro del pozo deberá ser muy cuidadosa, asegurando que se acomode a la forma de éste, sin que quede muy tensa, ni con demasiados dobleces o arrugas. También, se debe verificar que no tenga perforaciones.*

**8.10.1** Se vierte la arena dentro del pozo, con un recipiente apropiado (Ver numeral 5.6). Se deberá emplear la misma técnica usada para la calibración (Ver Anexo A). La arena deberá sobrellenar levemente la plantilla. Toda arena no utilizada se deberá devolver al recipiente original.

**8.10.1.1** Mientras se esté vertiendo la arena, se deberá evitar cualquier vibración en el área del ensayo.

**8.10.2** Se enrasa cuidadosamente la arena calibrada, pasando la regla metálica sobre los bordes de la plantilla. Toda la arena sobrante del

enrase se deberá regresar al recipiente original. No se debe perder ningún exceso de arena.

**8.10.3** Si la arena empleada se va a recuperar, se deberá remover del pozo y colocar en un recipiente especial debidamente marcado. Se retiran, también, el plástico protector y la plantilla.

**8.11** Se determina el peso unitario seco del material *insitu*.

**8.11.1** Se determina la masa de arena calibrada que ocupó la plantilla (arena que llenó el espacio entre la superficie del suelo y el borde superior de la plantilla), de la siguiente manera:

**8.11.1.1** Se calcula y anota la masa total de la arena y los recipientes preparados, según se indicó en el numeral 8.4.2. Se anotan los números de los recipientes.

**8.11.1.2** Se determina y anota la masa total de los recipientes que quedaron vacíos y los que quedaron con arena no usada en la operación de llenado de la plantilla.

**8.11.1.3** Por diferencia, se calcula la masa de arena en la plantilla y se registra su valor.

**8.11.2** Se determina la masa de arena calibrada que ocupó el pozo y la plantilla (arena que llenó el pozo y alcanzó el borde superior de la plantilla), de la siguiente manera:

**8.11.2.1** Se calcula y anota la masa total de la arena y los recipientes preparados, según se indicó en el numeral 8.4.3. Se anotan los números de los recipientes.

**8.11.2.2** Se determina y anota la masa total de los recipientes que quedaron vacíos y los que quedaron con arena no usada en la operación de llenado del pozo.

**8.11.2.3** Se calcula la masa de arena que ocupó el pozo y la plantilla (masa de la arena usada) y se registra su valor.

**8.11.3** Se calcula la masa de la arena usada para llenar el pozo y se anota el valor correspondiente.

- 8.11.4** Se anota la densidad de la arena calibrada, la cual se determina como se indica en el Anexo A.
- 8.11.5** Se calcula el volumen del pozo y se anota su valor.
- 8.11.6** Se determina la masa total del material excavado, junto con la de los recipientes que lo contienen.
- 8.11.7** Se determina y anota la masa de los recipientes usados para colocar el material excavado (incluyendo la de las bolsas plásticas dentro de las cuales se introdujo el material en el terreno, si se utilizaron). Se anotan, también, los números de los recipientes.
- 8.11.8** Se calcula y anota la masa del material excavado.
- 8.11.9** Se calcula la densidad húmeda del material excavado y se registra el valor correspondiente.
- 8.11.10** Si el material excavado contenía sobretamaños (normalmente partículas de más de 4.75 mm en el caso de suelos cohesivos o de 75 mm en el caso de materiales granulares), se separan usando el tamiz apropiado. Si el material contiene aproximadamente 3 % o más de sobretamaños (sobre la base del material húmedo), se deberá emplear el Método B de ensayo (Sección 9).
- 8.11.11** Si la cantidad de sobretamaños es igual o inferior a 2 %, se obtiene una muestra representativa del material excavado y se determina su humedad, de acuerdo con las normas INV E-122 o INV E-216.
- Nota 3: Para una determinación rápida de la humedad de materiales que contienen menos de 15 % de finos (pasante del tamiz No. 200), se puede usar un reverbero. El material se debe agitar para acelerar el secado y evitar el sobrecalentamiento. Se considera que el secado es completo, cuando un calentamiento adicional produce un cambio de masa inferior a 0.1 %.*
- 8.11.12** Si se requiere o se desea, se calculan y anotan la densidad seca y el peso unitario seco del material.



## 9 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO PARA EL MÉTODO B – DENSIDAD Y PESO UNITARIO IN-SITU DE LA FRACCIÓN DE CONTROL

---

- 9.1** Este método se emplea cuando el material que se está ensayando contiene sobretamaños y se debe determinar el porcentaje de compactación o la densidad relativa de la fracción de control (Ver numeral 1.4).
- 9.2** Se obtiene la densidad húmeda in-situ del material total siguiendo el Método A, conforme se establece en los numerales 8.1 a 8.9.
- 9.3** Para obtener la densidad húmeda de la fracción de control, se determinan la masa y el volumen de los sobretamaños y se sustraen de la masa y el volumen totales, con el fin de hallar la masa y el volumen de la fracción de control, a partir de los cuales se podrá calcular su densidad.
- 9.3.1** Normalmente, se calcula la densidad húmeda de la fracción de control y luego, conociendo su humedad, se determina su densidad seca.
- 9.3.2** Además, se deben determinar la humedad de los sobretamaños, la humedad del material total y el porcentaje de sobretamaños.
- 9.4** Luego de que se determine la masa total del material excavado del pozo, se separa el material entre sobretamaños y fracción de control, empleando el tamiz designado para ello. Esto se debe hacer rápidamente, para minimizar las pérdidas de humedad. Si el ensayo tiene por finalidad el control de la construcción, la fracción de control se deberá colocar en un recipiente hermético para futuras pruebas.
- 9.5** Se lavan los sobretamaños y se reduce el agua libre de la superficie de las partículas empleando papel absorbente, escurrimiento u otro método apropiado.
- 9.6** Se determina la masa húmeda de las partículas más el de un recipiente de masa predeterminada, y se registra su valor.
- 9.7** Se calcula y anota la masa húmeda de los sobretamaños.
- 9.8** Se calcula y anota la masa húmeda de la fracción de control.
- 9.9** Se determina el volumen de los sobretamaños, por alguno de los métodos siguientes:

- 9.9.1** Se determina y anota la masa de todos los sobretamaños mientras están suspendidos en agua, usando el protocolo de la norma INV E-223, pero obviando el secado en el horno y el período de inmersión de 24 horas. Se calcula y anota el volumen de los sobretamaños.
- 9.9.2** Otro método consiste en calcular el volumen usando un valor conocido de gravedad específica bulk. Si hay resultados de ensayos previos para determinarla en la misma fuente de materiales y los valores son relativamente constantes, se podrá asumir un valor de la gravedad específica bulk. Este valor debe corresponder a la condición de humedad que tenían los sobretamaños cuando se determinó su masa. Como se usa en este método de ensayo, la gravedad específica bulk se debe determinar en la condición de humedad establecida en los numerales 9.5 a 9.7. Si se usa una gravedad específica de material seco al horno o en condición saturada y superficialmente seca (SSS), entonces la masa de los sobretamaños se deberá determinar en esas mismas condiciones.
- 9.10** Se calcula y registra el volumen de la fracción de control.
- 9.11** Se calcula la densidad húmeda de la fracción de control.
- 9.12** Se determina la humedad de la fracción de control de acuerdo con las normas INV E-122 o INV E-216 y se anota el valor correspondiente (Ver nota 3).
- 9.13** Se calculan y anotan la densidad seca y el peso unitario seco de la fracción de control.
- 9.14** Si se desea, se determina la humedad de los sobretamaños, siguiendo las normas INV E-122 o INV E-216 y se anota el valor correspondiente (Ver nota 3). Si hay resultados de ensayos anteriores sobre la humedad de los sobretamaños de una fuente y los valores son relativamente constantes, se podrá asumir el valor de esta humedad.
- 9.15** Si se desea, se determina el porcentaje de sobretamaños, como sigue:
- 9.15.1** Se calcula y anota la masa seca de la fracción de control.
- 9.15.2** Se calcula y anota la masa seca de los sobretamaños.
- 9.15.3** Se calcula y anota la masa seca del material total.

**9.15.4** Se calcula y anota el porcentaje de sobretamaños.

**9.16** Se calcula la humedad del material total.

**9.17** Si se desea, se calcula y registra la densidad seca y el peso unitario seco del material total.

## 10 CÁLCULOS DEL ENSAYO POR EL MÉTODO A

---

**10.1** Se calcula la masa de la arena contenida en la plantilla:

$$m_6 = m_2 - m_4 \quad [165.1]$$

Donde:  $m_6$ : Masa de la arena en la plantilla, kg;

$m_2$ : Masa de la plantilla, la arena y los recipientes (antes del ensayo), kg;

$m_4$ : Masa de la plantilla, la arena sobrante y los recipientes (después del ensayo), kg.

**10.2** Se calcula la masa de arena usada para llenar el pozo y la plantilla:

$$m_5 = m_1 - m_3 \quad [165.2]$$

Donde:  $m_5$ : Masa de la arena usada, kg;

$m_1$ : Masa de la arena y los recipientes (antes del ensayo), kg;

$m_3$ : Masa de la arena sobrante y los recipientes (después del ensayo), kg.

**10.3** Se calcula la masa de arena utilizada para llenar el pozo:

$$m_7 = m_5 - m_6 \quad [165.3]$$

Donde:  $m_7$ : Masa de la arena en el pozo, kg;

$m_5$ : Masa de arena usada, kg;

$m_6$ : Masa de la arena en la plantilla, kg.

**10.4** Se calcula el volumen del pozo:

$$V_T = \frac{m_7}{\rho_s} \times \frac{1}{10^3} \quad [165.4]$$

Donde:  $V_T$ : Volumen del pozo,  $m^3$ ;

$m_7$ : Masa de la arena en el pozo, kg;

$\rho_s$ : Densidad de la arena calibrada,  $Mg/m^3$ .

**10.5** Se calcula la masa del material húmedo removido del pozo:

$$m_{10} = m_8 - m_9 \quad [165.5]$$

Donde:  $m_{10}$ : Masa del material húmedo removido del pozo, kg;

$m_8$ : Masa del material húmedo removido del pozo más la masa de los recipientes, kg;

$m_9$ : Masa de los recipientes para  $m_8$ , kg.

**10.6** Se calcula la densidad húmeda del material del pozo:

$$\rho_h = \frac{m_{10}}{V_T} \times \frac{1}{10^3} \quad [165.6]$$

Donde:  $\rho_h$ : Densidad húmeda del material del pozo,  $Mg/m^3$ ;

$m_{10}$ : Masa del material húmedo removido del pozo, kg;

$V_T$ : Volumen del pozo,  $m^3$ .

**10.7** Se calcula la densidad seca del material del pozo:

$$\rho_d = \frac{\rho_h}{1 + \left(\frac{w}{100}\right)} \quad [165.7]$$

Donde:  $\rho_d$ : Densidad seca del material del pozo, Mg/m<sup>3</sup>;

$\rho_h$ : Densidad húmeda del material del pozo, Mg/m<sup>3</sup>;

w: Contenido de agua del material excavado del pozo, %.

**10.8** Si se desea, se calcula el peso unitario seco ( $\gamma_d$ ) del material del pozo:

$$\gamma_d \left[ \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \right] = \rho_d \times 9.807 \quad [165.8]$$

Donde:  $\rho_d$ : Densidad seca del material del pozo, Mg/m<sup>3</sup>.

## 11 CÁLCULOS DEL ENSAYO POR EL MÉTODO B

**11.1** Se calcula la masa húmeda de los sobretamaños:

$$m_{13} = m_{11} - m_{12} \quad [165.9]$$

Donde:  $m_{13}$ : Masa húmeda de los sobretamaños, kg;

$m_{11}$ : Masa húmeda de los sobretamaños y del recipiente, kg;

$m_{12}$ : Masa del recipiente, kg.

**11.2** Se calcula la masa húmeda de la fracción de control:

$$m_{18} = m_{10} - m_{13} \quad [165.10]$$

Donde:  $m_{18}$ : Masa húmeda de la fracción de control, kg;

$m_{10}$ : Masa del material húmedo removido del pozo, kg;

$m_{13}$ : Masa húmeda de los sobretamaños, kg.

**11.3** Se calcula el volumen de los sobretamaños, a partir de su masa en el aire y en el agua:

$$V_{ST} = \frac{m_{13} - m_{14}}{1 \text{ g/cm}^3} \times \frac{1}{10^3} \quad [165.11]$$

Donde:  $V_{ST}$ : Volumen de los sobretamaños,  $\text{m}^3$ ;

$m_{13}$ : Masa húmeda de los sobretamaños, kg;

$m_{14}$ : Masa de los sobretamaños suspendidos en agua, kg;

$1 \text{ g/cm}^3$ : Densidad del agua;

$1/10^3$ : Constante para convertir  $\text{g/cm}^3$  a  $\text{kg/m}^3$ .

**11.4** Se calcula el volumen de los sobretamaños, a partir de una gravedad específica bulk conocida:

$$V_{ST} = \frac{m_{13}}{G_m \times (1 \text{ g/cm}^3)} \times \frac{1}{10^3} \quad [165.12]$$

Donde:  $V_{ST}$ : Volumen de los sobretamaños,  $\text{m}^3$ ;

$m_{13}$ : Masa húmeda de los sobretamaños, kg;

$G_m$ : Gravedad específica bulk de los sobretamaños.

**11.5** Se calcula el volumen de la fracción de control:

$$V_C = V_T - V_{ST} \quad [165.13]$$

Donde:  $V_C$ : Volumen de la fracción de control,  $\text{m}^3$ ;

$V_T$ : Volumen del pozo,  $\text{m}^3$ ;

$V_{ST}$ : Volumen de los sobretamaños,  $\text{m}^3$ .

**11.6** Se calcula la densidad húmeda de la fracción de control:

$$\rho_h(c) = \frac{m_{18}}{V_C} \times \frac{1}{10^3} \quad [165.14]$$

Donde:  $\rho_h(c)$ : Densidad húmeda de la fracción de control, Mg/m<sup>3</sup>;

$m_{18}$ : Masa húmeda de la fracción de control, kg;

$V_C$ : Volumen de la fracción de control, m<sup>3</sup>.

**11.7** Se calcula la densidad seca de la fracción de control:

$$\rho_d(c) = \frac{\rho_h(c)}{1 + \left(\frac{w_f}{100}\right)} \quad [165.15]$$

Donde:  $\rho_d(c)$ : Densidad seca de la fracción de control, Mg/m<sup>3</sup>;

$\rho_h$ : Densidad húmeda de la fracción de control, Mg/m<sup>3</sup>;

$w_f$ : Contenido de agua de la fracción de control, %.

**11.8** Si se desea convertir la densidad seca en peso unitario seco, se aplica la fórmula del numeral 10.8.

**11.9** Se calcula la masa seca de la fracción de control:

$$m_{19} = \frac{m_{18}}{1 + \left(\frac{w_f}{100}\right)} \quad [165.16]$$

Donde:  $m_{19}$ : Masa seca de la fracción de control, kg;

$m_{18}$ : Masa húmeda de la fracción de control, kg;

$w_f$ : Contenido de agua de la fracción de control, %.

**11.10** Se calcula la masa seca de los sobretamaños usando alguna de las siguientes expresiones, según la información disponible:

$$m_{17} = m_{15} - m_{16} \quad [165.17]$$

$$m_{17} = \frac{m_{13}}{1 + \left(\frac{w_{ST}}{100}\right)} \quad [165.18]$$

Donde:  $m_{17}$ : Masa seca de los sobretamaños, kg;

$m_{15}$ : Masa seca de los sobretamaños y el recipiente, kg;

$m_{16}$ : Masa del recipiente, kg;

$m_{13}$ : Masa húmeda de los sobretamaños, kg;

$w_{ST}$ : Contenido de agua de los sobretamaños, %.

**11.11** Se calcula la masa seca de la muestra total:

$$m_{20} = m_{19} + m_{17} \quad [165.19]$$

Donde:  $m_{20}$ : Masa seca de la muestra total (fracción de control más sobretamaños), kg;

$m_{19}$ : Masa seca de la fracción de control, kg;

$m_{17}$ : Masa seca de los sobretamaños, kg.

**11.12** Se calcula el porcentaje de sobretamaños:

$$P = \frac{m_{17}}{m_{20}} \times 100 \quad [165.20]$$

Donde: P: Porcentaje de sobretamaños;

$m_{17}$ : Masa seca de los sobretamaños, kg;



$m_{20}$ : Masa seca de la muestra total (fracción de control más sobretamaños), kg.

**11.13** Se calcula el contenido de agua (humedad) del material total:

$$w = \frac{m_{10} - m_{20}}{m_{20}} \times 100 \quad [165.21]$$

Donde:  $w$ : Contenido de agua del material extraído del pozo, %;

$m_{10}$ : Masa del material húmedo removido del pozo, kg;

$m_{20}$ : Masa seca de la muestra total (fracción de control más sobretamaños), kg;

**11.14** Si se desea, se calcula el peso unitario seco ( $\gamma_d$ ) del material del pozo:

$$\gamma_d \left[ \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \right] = \rho_d \times 9.807 \quad [165.22]$$

Donde:  $\rho_d$ : Densidad seca del material del pozo,  $\text{Mg}/\text{m}^3$ .

**11.15** En ocasiones, puede ser necesario expresar la densidad in-situ como un porcentaje de otra densidad de referencia; por ejemplo, la máxima determinada de acuerdo a los procedimientos de las normas INV E-141 e INV E-142. Esta relación se puede determinar dividiendo la densidad in-situ por la densidad máxima de laboratorio y multiplicando por 100. Siempre que se requiera, se deberán efectuar las correcciones por sobretamaños, según la norma INV E-143.

## 12 INFORME

---

**12.1** Se deberá presentar la siguiente información:

**12.1.1** Localización del sitio de ensayo (coordenadas, abscisa, cota).

**12.1.2** Volumen del pozo.

**12.1.3** Densidad húmeda in-situ, total o de la fracción de control, o ambas.

- 12.1.4** Densidad seca in-situ, total o de la fracción de control, o ambas.
- 12.1.5** Si se requiere, peso unitario seco in-situ, total y/o de la fracción de control.
- 12.1.6** Humedad in-situ, total o de la fracción de control, y método de ensayo usado para determinarla.
- 12.1.7** Descripción de los aparatos utilizados.
- 12.1.8** Descripción de los procedimientos de calibración.
- 12.1.9** Densidad de la arena calibrada.
- 12.1.10** Comentarios sobre la ejecución del ensayo.
- 12.1.11** Descripción visual del material.
- 12.1.12** Si se determinó o se asumió, la gravedad específica bulk y el método de ensayo usado.

### **13 PRECISIÓN Y SESGO**

---

- 13.1** *Precisión* – No se presentan datos sobre precisión, debido a la naturaleza de los suelos y materiales rocosos ensayados por estos métodos.
- 13.2** *Sesgo* – No hay valor de referencia aceptado para estos métodos; por lo tanto, no se puede determinar el sesgo.

### **14 NORMAS DE REFERENCIA**

---

ASTM D 4914 – 08

## ANEXO A (Aplicación obligatoria)

### CALIBRACIÓN DE LA ARENA Y DEL RECIPIENTE PARA VERTERLA

---

#### A.1 Objeto:

**A.1.1** La calibración determina una densidad promedio de la arena usada para calcular el volumen de un pozo excavado para determinar la densidad in-situ de suelos y rocas.

*Nota A.1: En esta norma, el término "roca" se emplea específicamente para referirse a materiales que contienen partículas de más de 75 mm (3").*

#### A.2 Resumen del método:

**A.2.1** Usando un recipiente específico de vertimiento, se vierte arena dentro de un molde de forma y tamaño similares a un pozo de campo, para determinar la densidad de la arena, tal como ella se vierte en acuerdo con las condiciones indicada en esta norma.

#### A.3 Importancia y uso:

**A.3.1** Este procedimiento de calibración tiene por finalidad obtener un valor de la densidad de la arena usando un recipiente específico para su vertimiento; densidad con la cual se puede determinar el volumen de un pozo excavado en el terreno, para determinar el peso unitario in-situ.

**A.3.2** Este procedimiento se debe realizar:

**A.3.2.1** Cuando se recibe un nuevo despacho de arena.

**A.3.2.2** A intervalos no mayores de 14 días, cuando diariamente se realizan varios ensayos.

**A.3.2.3** Si los ensayos se hacen con una frecuencia muy escasa, la arena se deberá calibrar al inicio de cada nueva serie de ensayos.

**A.3.2.4** Cuando haya cualquier cambio de equipo, personal, tamaño o forma del pozo.

**A.3.2.5** Luego de que ocurran cambios significativos en la humedad atmosférica o en la humedad de la arena. La arena se deberá encontrar lo más seca que resulte posible.

*Nota A.2: La mayor parte de las arenas presenta la tendencia a absorber humedad de la atmósfera. Una cantidad muy pequeña de humedad absorbida puede producir un cambio importante en la densidad bulk. En zonas de alta humedad o donde la humedad sufra cambios a menudo, puede ser necesario determinar la densidad de la arena con una frecuencia mayor que la indicada en A.3.2.2.*

#### **A.4** Aparatos:

**A.4.1** *Regla metálica* – De unos 50 mm (2") de altura, de no menos de 3 mm (1/8") de espesor y con una longitud igual a 1.5 veces el lado del molde calibración. Se usa para emparejar la arena. Debe poseer una rigidez suficiente para no sufrir pandeo durante el emparejamiento de la arena.

**A.4.2** *Molde* – Similar en tamaño y forma a los pozos a excavar en el terreno. Su volumen se debe determinar de acuerdo con los principios descritos en el Anexo C.

**A.4.3** *Equipo misceláneo* – Cubetas para mezclar y recuperar arena, bandejas, papel grueso, y brochas y cucharones para el manejo de la arena recuperada.

#### **A.5** Riesgos técnicos:

**A.5.1** Consistencia en el flujo de la arena (Ver numerales 6.2.7 a 6.2.9).

**A.5.2** Vibración de la arena vertida:

**A.5.2.1** Cualquier vibración o percusión de la arena vertida, sea que el proceso de vertido se haya completado o no, produce densificación de la arena y resultados erróneos de los ensayos. Para alcanzar resultados consistentes, la arena debe fluir libremente sin ninguna agitación exterior.

**A.5.2.2** La remoción de la arena que quede sobre el tope del molde de calibración se debe realizar con la menor vibración posible.

**A.5.2.3** Durante el proceso de calibración, los moldes de calibración se deben colocar sobre una superficie rígida y libre de vibraciones.

**A.5.3** Arena recuperada:

**A.5.3.1** Como regla general, no es deseable la recuperación de la arena para ensayos posteriores.

**A.6** *Acondicionamiento:*

**A.6.1** La arena se debe almacenar en tolvas o en recipientes apropiados para mantener una condición seca uniforme. Una caneca de 55 galones con una válvula cerca del fondo constituye un excelente recipiente de almacenamiento. En zonas donde se experimenten cambios de humedad significativos, puede ser necesaria la instalación de una fuente interna de calor, como una cinta de calor (*heat tape*).

**A.6.2** Cuando se introduzca un nuevo suministro de arena en la tolva o recipiente de almacenamiento, y antes de cada calibración, se debe mezclar totalmente la arena. Los registros de calibración deben documentar todo nuevo suministro, con las fechas en que se han introducido en la tolva o recipiente de almacenamiento.

**A.7** *Procedimiento:*

**A.7.1** Se determina y anota la masa del molde.

**A.7.2** Se coloca el molde de calibración sobre una superficie rígida.

**A.7.3** Usando el recipiente para verter la arena, se la vierte dentro del molde de calibración, de manera que éste quede ligeramente sobrellenado. Se debe usar un movimiento circular, para garantizar que la arena conserve siempre un nivel uniforme. El conducto del tubo de vertimiento (pico) del recipiente se debe mantener 50 mm (2") sobre la superficie de la arena durante todo el proceso de vertimiento. Mantener la altura constante y evitar vibraciones, son medidas fundamentales para alcanzar resultados consistentes (Ver A.5.2).

**A.7.3.1** Si la capacidad del recipiente de vertimiento es muy pequeña para llenar el molde de calibración en una sola carga, se deberán emplear las adicionales que sean necesarias para llenarlo. (Ver numeral 6.2.8).

**A.7.4** Usando la regla, se remueve el exceso de arena que quede sobre el borde superior del molde (Ver A.5.2.2).

- A.7.5** Se determina y anota la masa de la arena más el molde de calibración.
- A.7.6** Se determina y anota la masa de la arena que cupo en el molde de calibración.
- A.7.7** Se calcula y anota la densidad de la arena.
- A.7.8** Se hace un segundo tanteo repitiendo los pasos A.7.1 a A.7.7.
- A.7.9** Se determina la uniformidad de los dos valores obtenidos, dividiendo un valor por el otro. Si la relación está entre 0.990 y 1.010, inclusive, se promedian los dos valores y se registra dicho valor. Si la relación cae por fuera de dicho rango, se deberá proceder según A.7.10.
- A.7.9.1** Se compara la densidad registrada con los valores determinados previamente, para ver si el valor es consistente y razonable. Si no lo es, se deberá proceder según A.7.10.
- A.7.10** Se verifica que todo el equipo funcione correctamente, que las calibraciones sean correctas y que los procedimientos y técnicas utilizados sean apropiados. Si no se detectan problemas, se descarta toda la arena usada en la calibración y se repite el procedimiento usando arena fresca del suministro original.

## A.8 Cálculos:

**A.8.1** Se calcula la densidad de la arena de la siguiente manera:

$$\rho_s = \frac{m}{V} \times \frac{1}{10^3} \quad [165.23]$$

Donde:  $\rho_s$ : Densidad de la arena, Mg/m<sup>3</sup>;

m: Masa de la arena dentro del molde calibración, kg;

V: Volumen del molde de calibración, m<sup>3</sup>.

- A.8.2** Esta densidad de la arena es válida, únicamente, cuando ella se emplee con el recipiente de vertimiento usado en la calibración. Si se dispone de más recipientes, se deberá efectuar una calibración independiente con cada uno de ellos.

## ANEXO B (Informativo)

### GUÍAS PARA DETERMINAR LAS DIMENSIONES DEL POZO Y PARA ELEGIR LA PLANTILLA

- B.1** Este anexo presenta guías para seleccionar las dimensiones del pozo y el tipo de plantilla, dependiendo del tamaño máximo de partícula presente en el material que se ensaya. Las recomendaciones se encuentran en las Tablas 165B - 1 y 165B - 2 y las formas típicas de los pozos se muestran en la Figura 165B - 1.
- B.2** La intención de estas guías es tratar de que se obtengan muestras representativas y en condiciones prácticas de trabajo.
- B.3** Las guías de la Tabla 165B - 1 aplican a pozos de las formas A y B mostradas en la Figura 165B - 1. Estos pozos se usan, generalmente, para materiales que no permiten el drenaje libre, o cohesivos, donde la gradación y la angulosidad de partículas permitan una excavación con paredes casi verticales.
- B.4** Las guías de la Tabla 165B - 2 aplican a pozos de la forma C mostrada en la Figura 165B - 1. Este tipo de pozo se excava donde no resulte posible excavarlos con las formas A o B. En este caso, la pendiente de las paredes de la excavación es mucho menor, aproximadamente igual al ángulo de reposo del material.
- B.5** Estas guías solo aplican cuando se siguen las limitaciones indicadas en los numerales 1.5 y 1.6, en relación con los materiales blandos o inestables.

Tabla 165B - 1. Plantilla de ensayo y volumen mínimo de excavación

TAMAÑO MÁXIMO DE PARTÍCULA (mm)	VOLUMEN MÍNIMO REQUERIDO (m <sup>3</sup> )	ABERTURA DE LA PLANTILLA	PROFUNDIDAD MÍNIMA REQUERIDA (mm)
75	0.03	0.60 m (marco cuadrado)	300
125	0.06	0.75 m (marco cuadrado)	450
200	0.23	1.20 m (anillo circular)	600
300	0.76	1.80 m (anillo circular)	600
450	2.55	2.70 m (anillo circular)	900

Nota: Cuando el tamaño máximo de partícula sea superior a 450 mm, se deberá analizar cada caso de manera individual

Tabla 165B - 2. Plantilla de ensayo y volumen mínimo de excavación

TAMAÑO MÁXIMO DE PARTÍCULA (mm)	VOLUMEN MÍNIMO REQUERIDO (m <sup>3</sup> )	ABERTURA DE LA PLANTILLA	PROFUNDIDAD MÍNIMA REQUERIDA (mm)	DIÁMETRO APROXIMADO DEL POZO EN LA SUPERFICIE (mm)
75	0.03	0.83 m (marco cuadrado)	250	750
125	0.06	1.00 m (marco cuadrado)	300	900
200	0.23	1.55 m (anillo circular)	450	1350

Nota: Cuando el tamaño máximo de partícula sea superior a 200 mm, se deberá analizar cada caso de manera individual

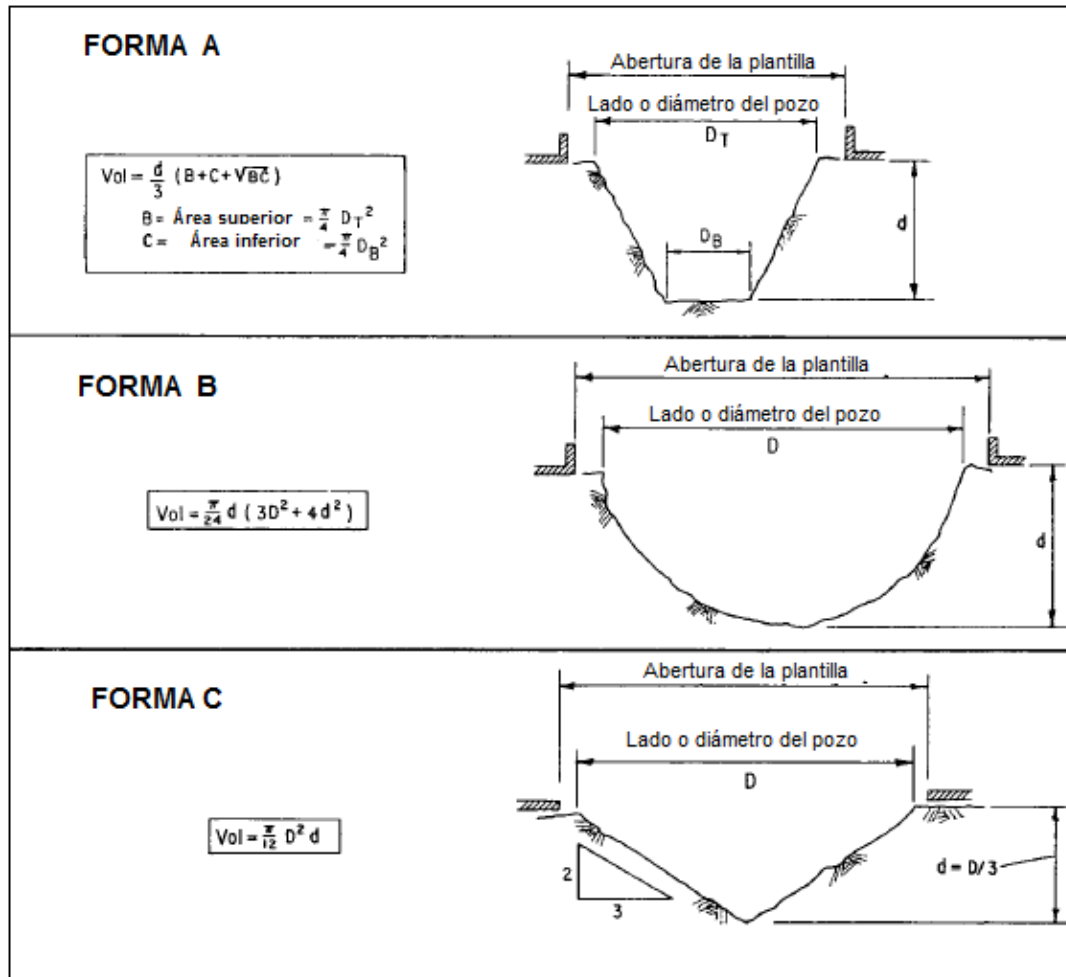


Figura 165B - 1. Configuraciones de pozos



## ANEXO C (Aplicación obligatoria)

### DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL MOLDE PARA LA CALIBRACIÓN DE LA ARENA

---

**C.1** El volumen del molde se puede determinar por los métodos de medida directa o de llenado con agua, como se describe a continuación:

**C.1.1** *Método de medida directa* – Se realizan 3 medidas de diámetro y 3 de altura, uniformemente espaciadas, con aproximación a 0.025 mm (0.001") y se determinan los valores promedio. El promedio de la altura se expresa en m o en cm, con 4 dígitos significativos. A partir del diámetro se calcula la sección transversal, también con 4 dígitos significativos y, en seguida, se calcula el volumen (en m<sup>3</sup> o cm<sup>3</sup>) con el mismo criterio.

**C.1.2** *Método de llenado con agua* – Se llena el molde con agua y se pasa una placa de vidrio por su borde superior para verificar el llenado. Una película delgada de grasa o de lubricante de silicona colocada previamente en la circunferencia superior del molde ayuda a formar una junta impermeable entre éste y la placa de vidrio. Mediante pesadas del molde vacío y lleno de agua, se calcula la masa de agua necesaria para llenarlo (en gramos) y, además, se determina la temperatura del agua (aproximada a 1° C). En la Tabla 165C - 1 se presenta el volumen unitario del agua (ml) por gramo, a diferentes temperaturas de medida. El volumen del molde, en cm<sup>3</sup>, se calcula multiplicando la masa de agua usada para llenar el molde, por el volumen de agua por gramo, tomado de la Tabla 165C - 1. Si se desea determinar el volumen en m<sup>3</sup>, se multiplica el volumen en cm<sup>3</sup> por 10<sup>-6</sup>. En ambos casos, el volumen se presentará con 4 dígitos significativos.

*Nota C.1: El volumen medido a través de cualquiera de estos métodos no deberá diferir en más 1.5 % respecto del volumen nominal. Se recomienda usar ambos métodos y si la diferencia entre los resultados excede de 0.5 % del valor nominal del molde, se deberá repetir la medida. Si luego de varios intentos no se consigue la coincidencia, ello puede ser indicativo de deformaciones del molde y, por lo tanto, se deberá reemplazar. Si la diferencia de los valores obtenidos se encuentra dentro del límite mencionado, se asignará al molde el volumen medido con agua, el cual se considera más preciso.*

Tabla 165C - 1. Volumen de agua por gramo

TEMPERATURA		VOLUMEN DE AGUA POR GRAMO
°C	°F	mL/g
15	59.0	1.00090
16	60.8	1.00106
17	62.6	1.00122
18	64.4	1.00140
19	66.2	1.00129
20	68.0	1.00180
21	69.8	1.00201
22	71.6	1.00223
23	73.4	1.00246
24	75.2	1.00271
25	77.0	1.00296
26	78.8	1.00322
27	80.6	1.00350
28	82.4	1.00378
29	84.2	1.00407
30	86.0	1.00437

# ENSAYO DE PLACA CON CARGA ESTÁTICA NO REPETIDA SOBRE SUELOS Y CAPAS NO TRATADAS DE PAVIMENTOS, PARA EMPLEAR EN LA EVALUACIÓN Y EL DISEÑO DE PAVIMENTOS

INV E – 168 – 13

## 1 OBJETO

---

- 1.1** Este método se refiere a la ejecución del ensayo de placa con carga estática no repetida, sobre suelos de subrasante y componentes de pavimentos, bien sea en condición compactada o en estado natural y suministra los datos para emplear en la evaluación y el diseño de pavimentos rígidos y flexibles para carreteras y aeropistas.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E–168–07.

## 2 DEFINICIONES

---

- 2.1** *Deformación* – Es la magnitud del movimiento vertical descendente de una superficie, debido a la aplicación de una carga sobre la misma.
- 2.2** *Deformación residual* – Es la diferencia entre las alturas original y final de una superficie, como consecuencia de la aplicación y remoción de una o más cargas hacia o desde la superficie.
- 2.3** *Deformación de rebote* – Es la magnitud del rebote vertical de una superficie, el cual ocurre cuando se remueve una carga de la misma.

## 3 IMPORTANCIA Y USO

---

- 3.1** Ensayos con carga estática no repetida, efectuados en el sitio, se usan para la evaluación y el diseño de estructuras de pavimento. Los ensayos con carga estática no repetida se realizan sobre suelos y sobre subbases y bases no cementadas, para determinar el módulo de reacción de la subrasante o una medida de la resistencia al corte de las capas del pavimento.

## 4 EQUIPO

---

- 4.1** *Dispositivo de carga* – Un camión o remolque o una combinación de ambos, un marco anclado u otra estructura cargada con peso suficiente para proporcionar la reacción deseada sobre la superficie durante el ensayo. Los puntos de apoyo (ruedas en el caso de un camión o remolque) deberán estar, al menos, a 2.4 m (8 pies) de la circunferencia de la placa de apoyo de mayor diámetro que se está empleando.
- 4.2** *Ensamblaje de gato hidráulico* – Con un accesorio esférico de soporte, capaz de aplicar y liberar la carga en incrementos. El gato deberá tener suficiente capacidad para aplicar la máxima carga requerida y deberá estar provisto de un manómetro perfectamente calibrado, o de un anillo de carga, que indique la magnitud de la carga aplicada (Figura 168 - 1).
- 4.3** *Placas de carga* – Un juego de placas de carga circulares, de acero, de no menos de 25.4 mm (1") de espesor cada una, maquinadas de forma que se puedan organizar en forma piramidal para garantizar rigidez, y que tengan diámetros de 152 a 762 mm (6 a 30"). Los diámetros de las placas adyacentes en la disposición piramidal no deberán diferir en más de 152 mm (6") (Figura 168 - 1).
- Nota 1: Se recomiendan tres o cuatro placas de tamaños diferentes para fines de diseño o evaluación de pavimentos. Para propósitos de evaluación solamente, se puede emplear una sola placa si se garantiza que su área sea igual al área de contacto de la llanta que corresponda a la que se pueda considerar como la combinación más crítica de condiciones de carga por rueda y presión de contacto. Con el fin de proporcionar datos indicativos del índice de soporte (por ejemplo, la determinación del índice de soporte relativo de la subrasante a través de un período de un año), se puede emplear solo una placa, de cualquier tamaño que se escoja.*
- 4.4** *Diales indicadores (deformímetros)* – Tres o más, graduados en unidades de 0.01 mm (o 0.001"), capaces de registrar una deformación máxima de 25.4 mm (1"), u otros dispositivos equivalentes para medir deformaciones.
- 4.5** *Viga de deflexión* – Sobre la cual se deberán montar los deformímetros. La viga puede ser un tubo negro estándar de 63.5 mm (2½") de diámetro o un ángulo de acero de 76 × 76 × 6 mm (3" × 3" × ¼"), o equivalente. Debe tener 5.5 m (18 pies) de largo y debe descansar sobre soportes localizados a no menos de 2.4 m (8 pies) de la circunferencia de la placa de carga o de la rueda o pata de apoyo más próxima. Todo el sistema para medir las deformaciones deberá estar adecuadamente protegido de los rayos directos del sol, de la lluvia, etc.
- 4.6** *Herramientas varias* – Incluyendo un nivel de burbuja para la preparación de la superficie que se va a ensayar y para la operación del equipo.



Figura 168 - 1. Placas de carga y gato para el ensayo de placa directa

## 5 PROCEDIMIENTO

- 5.1 Se centra cuidadosamente una placa de carga del diámetro escogido en el sitio de ensayo. Se colocan en forma concéntrica las placas restantes de diámetros más pequeños sobre la placa de carga, la cual debe estar a nivel sobre un delgado lecho de una mezcla de arena y yeso de París, o de solo de yeso de París o de arena fina, empleando la mínima cantidad requerida para que el soporte sea uniforme. Para evitar la pérdida de humedad de la subrasante durante el ensayo de carga, se debe cubrir la superficie de la subrasante expuesta, hasta una distancia de 1.8 m (6 pies) a partir de la circunferencia de la placa de carga, con una lona impermeable o un papel a prueba de agua. Se coloca el dispositivo del gato sobre la placa superior.
- 5.2 Donde los ensayos se deban hacer a cierta profundidad bajo la superficie, se remueve el material circundante para brindar un espacio libre igual a una o una y media veces el diámetro de la placa, medidos a partir del borde de ésta. Para ensayos confinados, el diámetro del área circular excavada deberá ser apenas suficiente para acomodar la placa de apoyo seleccionada.

- 5.3** Se debe usar un número suficiente de diales, los cuales se deben localizar y fijar en posiciones adecuadas para determinar la deformación promedio de la placa de carga. Si se usan solo dos, se deberán asentar cerca de cada extremo del diámetro de la placa de carga, a 25 mm (1") de su borde. Si se usan tres diales, se colocan espaciados en ángulos de 120° y equidistantes de la circunferencia de la placa de carga. Las lecturas de cada juego de deformímetros se promedian, y este valor se registra como asentamiento promedio.
- 5.4** Luego de que el equipo se haya dispuesto adecuadamente, con toda la carga muerta actuando (placas y gato), se asienta la placa de carga mediante la aplicación y liberación de una carga suficiente para producir una deformación no menor de 0.25 mm (0.01") ni mayor de 0.51 mm (0.02"). Cuando las agujas de los diales se estabilicen luego de la aplicación de esta carga, se vuelve a asentar la placa, aplicando la mitad de la carga necesaria para producir la deflexión de 0.25 a 0.51 mm (0.01 a 0.02"). Cuando las agujas de los diales se vuelvan a estabilizar, se ajusta el cuadrante de cada dial, de manera que marque cero "0".
- 5.5** Se aplican cargas en incrementos uniformes, a una rata moderadamente rápida. La magnitud de cada incremento de carga deberá ser suficientemente pequeña para permitir el registro de un número suficiente de puntos (no menos de seis), para obtener una curva exacta de carga - deformación. Luego de que se aplique cada incremento de carga, se mantiene la carga en este punto hasta cuando la deformación no aumente a una rata mayor de 0.03 mm (0.001") por minuto, durante tres minutos consecutivos. Se anotan las lecturas de carga y de deformación para cada incremento de carga. La deformación debe corresponder al promedio de los valores registrados por los diales instalados. Se continúa este procedimiento hasta alcanzar la deformación total escogida o hasta que se haya alcanzado la capacidad de carga del dispositivo, lo que ocurra primero. En este punto, se mantiene la carga hasta cuando la deformación no aumente a una rata mayor de 0.03 mm (0.001") por minuto, durante tres minutos consecutivos. Se anota la deformación total, después de lo cual se disminuye la carga, hasta aquella a la cual los medidores del dial fueron colocados en "cero", y se mantiene la carga de asentamiento en cero, hasta cuando la rata de recuperación no exceda de 0.03 mm (0.001") durante tres minutos consecutivos. Se anota la deformación para la carga de puesta cero.
- 5.6** Con un termómetro suspendido cerca de la placa de carga, se lee y anota la temperatura del aire a intervalos de treinta minutos.

## 6 INFORME DE LOS ENSAYOS

---

- 6.1** Además de la lista continua de todos los datos de carga, deflexión y temperatura, como se prescribe en la Sección 5, se deberá elaborar un registro de todas las observaciones pertinentes al ensayo, incluyendo las siguientes:
- 6.1.1** Fecha.
  - 6.1.2** Horas de iniciación y conclusión del ensayo.
  - 6.1.3** Lista del personal.
  - 6.1.4** Condiciones atmosféricas.
  - 6.1.5** Cualquier irregularidad en relación con el procedimiento de rutina.
  - 6.1.6** Cualquier condición anormal observada durante el ensayo.

## 7 CÁLCULOS Y DIBUJO DE LA RELACIÓN CARGA- DEFORMACIÓN

---

- 7.1** Con los datos obtenidos al aplicar el procedimiento descrito en el numeral 5.5, se elabora un gráfico con puntos que representen la magnitud de la carga total aplicada para cada incremento, en Newton (lbf), contra la deformación correspondiente, en milímetros (pulgadas). Así mismo, se debe representar el punto correspondiente a la deformación obtenida luego de la liberación total de la carga. Se debe realizar una corrección para el punto de deformación cero, teniendo en cuenta el peso muerto del equipo y la carga de asiento inicial. A partir de este gráfico se pueden obtener la relación entre una carga cualquiera y la deformación total causada por dicha carga, así como las deformaciones de rebote y residual para la máxima carga total usada.

## 8 PRECISIÓN Y SESGO

---

- 8.1** La precisión y el sesgo de este método de ensayo de placa con carga estática no repetida sobre suelos de subrasante y otras capas de un pavimento flexible, no han sido determinados. Los suelos y capas de un pavimento flexible en un mismo sitio pueden mostrar diferencias significativas en las relaciones carga - deformación. No existe en la actualidad un método para evaluar la precisión

de un grupo de pruebas de placa con carga no repetida en suelos o capas de un pavimento flexible, debido a la variabilidad de estos materiales.

## **9 NORMAS DE REFERENCIA**

---

ASTM D 1196/D1196M – 12



## RELACIÓN DE SOPORTE DEL SUELO EN EL TERRENO (CBR IN-SITU)

INV E – 169 – 13

### 1 OBJETO

---

- 1.1 Esta norma establece el procedimiento que se debe seguir para determinar la relación de soporte de California (CBR) de un suelo ensayado "in situ", mediante la comparación entre la carga requerida para la penetración del suelo y la requerida para penetrar un material estándar de referencia.
- 1.2 Este método de ensayo cubre la evaluación de la calidad relativa de los suelos de subrasante, pero también es aplicable a materiales de sub-base y algunos de base.
- 1.3 Esta norma reemplaza la norma INV E-169-07.

### 2 IMPORTANCIA Y USO

---

- 2.1 Los ensayos de CBR in-situ se usan en la evaluación y el diseño de las capas de un pavimento flexible como base, sub-base y sub-rasante, y en otras aplicaciones (como vías no pavimentadas) para las cuales el CBR es el parámetro de resistencia deseado. Si el CBR in-situ se va a usar directamente para evaluación o diseño sin considerar su variación a causa de cambios en el contenido de agua, el ensayo se debe realizar en cualquiera de las siguientes condiciones: (a) cuando el grado de saturación (porcentaje de "vacíos" llenos con agua) es 80 % o mayor, (b) cuando el material es de grano grueso y sin cohesión, de manera que no se vea afectado de manera significativa por cambios en la humedad, o (c) cuando el suelo no ha sido modificado por actividades de construcción durante los dos años anteriores al ensayo. En el último caso, la humedad realmente no se vuelve constante sino que, generalmente, fluctúa dentro de un rango más bien estrecho. Por lo tanto, los datos del ensayo de campo se pueden usar para indicar de manera aceptable la capacidad promedio de soporte de carga.
- 2.2 Cualquier actividad de construcción, como nivelación o compactación, efectuada después del ensayo de relación de soporte, posiblemente hará perder aplicación a los resultados del ensayo.

- 2.3** Los suelos y los pavimentos flexibles de una misma zona pueden exhibir relaciones esfuerzo-deformación sustancialmente diferentes. En la actualidad, no existe ningún método que permita evaluar la precisión de un grupo de pruebas de carga en suelos y capas componentes de pavimentos flexibles, debido a la variabilidad de estos materiales.

*Nota 1: Los ensayos de campo se utilizan para determinar la resistencia relativa de los suelos, sub-bases y algunos materiales de base en la condición en que se encuentran en el momento del ensayo. Tales resultados tienen aplicación directa en tramos de prueba y en otros recursos de construcción. Además, como se indica en el numeral 2.1, los ensayos de campo pueden ser utilizados para diseñar bajo condiciones determinadas de humedad, densidad y características generales del material ensayado. Sin embargo, cualquier alteración significativa por compactación, movimiento o cambio de humedad, puede afectar la resistencia del suelo y dejar sin validez los resultados del ensayo efectuado previamente, conduciendo a la necesidad de un nuevo ensayo y de nuevos análisis.*

### 3 EQUIPO

---

- 3.1** *Gato mecánico de tornillo* – Operado manualmente, equipado con un dispositivo giratorio especial de manivela para aplicar la carga al pistón de penetración y diseñado con las siguientes especificaciones:
- 3.1.1** Capacidad mínima de 2700 kg (5950 lb).
  - 3.1.2** Elevación mínima: 50 mm (2").
  - 3.1.3** Manubrio desmontable de 150 mm (6") de radio.
  - 3.1.4** Relación de multiplicación alta, aproximadamente 2.4 revoluciones por mm (0.04") de penetración.
  - 3.1.5** Relación de multiplicación media, aproximadamente 5 revoluciones por mm (0.04") de penetración.
  - 3.1.6** Relación de multiplicación baja, aproximadamente 14 revoluciones por (0.04") de penetración.
  - 3.1.7** Se pueden usar otras relaciones de multiplicación, cuando se considere que resultan más convenientes.
  - 3.1.8** También, se pueden usar otros gatos mecánicos, con igual carga máxima y la misma altura de elevación, siempre y cuando se pueda obtener con ellos una rata uniforme de penetración de 1.3 mm (0.05") por minuto.

- 3.2** *Medidores de carga* – Dos anillos de prueba calibrados o una celda de carga, de las siguientes características:
- 3.2.1** *Anillos de carga* – Uno con un rango de carga de 0 a 8.9 kN (0 a 2000 lbf) y el otro de 0 a 22.2 kN (0 a 5000 lbf), aproximadamente.
- 3.2.2** *Celda de carga* – Electrónica, con un rango aproximando de carga de 0 a 22.2 kN (0 a 5000 lbf), con aproximación de lectura a 0.1 kN (0.25 lbf) o mejor.
- 3.3** *Pistón de penetración* – De  $50.8 \pm 0.1$  mm ( $2 \pm 0.004$ " ) de diámetro ( $3 \text{ pg}^2 = 19.35 \text{ cm}^2$  de área) y, aproximadamente, 102 mm (4") de longitud.
- 3.3.1** *Adaptador de pistón y extensiones de tubo* – Un adaptador de pistón y extensiones de tubo de rosca interna con conectores. Se debe contar con extensiones de tubo en las siguientes cantidades y longitudes [u otra combinación de longitudes que totalicen 2.4m (8 pies)]:

NÚMERO REQUERIDO	LONGITUD APROXIMADA
2	38 mm (1.5")
2	102 mm (4")
8	305 mm (12")

- 3.4** *Diales* – Dos diales (si se usan anillos de prueba): uno para medir las deformaciones del anillo de carga con lecturas de 0.0025 mm (0.0001"), que tenga un recorrido de aproximadamente 6.4 mm (0.25"); y otro para medir penetraciones del pistón con lecturas de 0.025 mm (0.001"), con un recorrido aproximado de 25 mm (1"), equipado con un soporte o abrazadera de extensión para ajustar la posición del dial.
- 3.5** *Soporte para el dial de penetración* – Un soporte o puente de aluminio, hierro o madera de 76 mm (3") de altura y longitud aproximada de 1.5 m (5 pies).
- 3.6** *Placa de sobrecarga* – Placa circular de acero, de  $254 \pm 0.5$  mm ( $10 \pm 0.02$ " ) de diámetro, con un agujero central circular de  $51 \pm 0.5$  mm ( $2 \pm 0.02$ " ) de diámetro. La placa debe tener una masa de  $4.54 \pm 0.01$  kg ( $10 \pm 0.02$  lb).
- 3.7** *Pesas de sobrecarga* – Dos pesas ranuradas de sobrecarga (similares a herraduras) de  $4.54 \pm 0.01$  kg ( $10 \pm 0.02$  lb), de  $216 \pm 1$  mm ( $8.5 \pm 0.04$ " ) de diámetro, y dos pesas de la mismas forma y dimensión, pero de  $9.08 \pm 0.01$  kg ( $20 \pm 0.02$  lb) cada una.

- 3.8 Vehículo (carga de reacción)** – Un camión (o una pieza de equipo pesado) cargado suficientemente para proveer una reacción de, aproximadamente, 31 kN (6970 lb). El camión debe estar equipado con una viga metálica debidamente acondicionada en la parte posterior del chasis, que ofrezca una reacción adecuada para forzar la penetración del pistón en el suelo. El camión se debe suspender suficientemente para eliminar la influencia de los resortes traseros y permitir que el ensayo de penetración se efectúe sin movimiento ascendente del chasis del vehículo. Para efectuar el ensayo, se requiere disponer de un espacio vertical libre de aproximadamente 0.6 m (2 pies).
- 3.9 Gatos** – Dos gatos tipo camión, de 14 Mg de capacidad, de doble acción combinada y descenso automático. Alternativamente, se pueden usar gatos hidráulicos.
- 3.10 Equipo misceláneo** – Recipientes para colocar muestras para determinación de humedad y densidad, espátula, regla de enrase, herramientas para excavar, etc.

*Nota 2: La Figura 169 - 1 muestra una instalación típica del ensayo en el terreno. La Figura 169 - 2 muestra el conjunto de elementos que componen el equipo.*



Figura 169 - 1. Montaje para el ensayo CBR in-situ



Figura 169 - 2. Elementos para el ensayo CBR in-situ

## 4 PROCEDIMIENTO

- 4.1** Se prepara la superficie del sitio retirando el material suelto y superficial que no sea representativo del suelo que se va a ensayar. Se debe preparar un área de ensayo tan uniforme y horizontal como sea posible. Cuando se trate de materiales de base no plásticos, se debe tener especial cuidado para no alterar la superficie de ensayo. El espaciamiento de los ensayos de penetración debe ser tal, que la operación en un punto no altere el suelo del siguiente punto que va a ser penetrado. Esta separación debe ser, como mínimo, 175 mm (7") en suelos plásticos y 380 mm (15") en suelos granulares gruesos.
- 4.2** Se sitúa el camión de tal manera que el centro del sistema de reacción quede directamente sobre la superficie por ensayar. Se instala el gato mecánico de tornillo debajo de la viga o dispositivo de reacción, con la manivela hacia afuera. Se colocan los gatos del camión a cada lado del vehículo y se levanta éste para que no exista peso alguno sobre los resortes posteriores; se debe cerciorar que el vehículo esté nivelado en la parte trasera.
- 4.3** Se ubica el gato mecánico de tornillo en la posición correcta y se acopla el anillo de carga al extremo del gato. Se asegura el adaptador del pistón al extremo inferior del anillo de prueba, se adiciona el número necesario de extensiones hasta alcanzar una altura menor de 125 mm (4.9") sobre la superficie de ensayo y se conecta el pistón de penetración. Se sujeta el gato en su sitio. Se comprueba el nivel del gato, para asegurar la verticalidad del montaje y hacer los ajustes que sean necesarios.

- 4.4** Se coloca la placa de sobrecarga de 4.5 kg (10 lb) debajo del pistón de penetración, de tal forma que cuando baje el pistón, éste pase a través del agujero central de la placa.
- 4.5** Se asienta el pistón bajo una carga inicial aproximada de 21 kPa (3 lbf/pg<sup>2</sup>). Para lograr un asentamiento rápido, se debe usar la relación de multiplicación alta del gato. Para materiales de base con una superficie irregular, se asienta el pistón sobre una delgadísima capa de polvo de trituración de piedra caliza tamizada (mallas No. 20 – No. 40) o de yeso de París.
- 4.6** Si es necesario para lograr una superficie uniforme, se levanta la placa de sobrecarga mientras todavía está actuando la carga inicial sobre el pistón y se espolvorea uniformemente arena fina, en un espesor de 3 a 6 mm (0.12 a 0.24"), sobre la superficie que va a estar cubierta por la placa. Esto sirve para distribuir uniformemente el peso de la sobrecarga.
- 4.7** Se adicionan pesas de sobrecarga a la placa colocada inicialmente, hasta que se transmita al suelo una presión equivalente a la que presumiblemente produzcan las capas de pavimento que se colocarán sobre el suelo que se ensaya, excepto que el peso mínimo por aplicar será el correspondiente a la placa de sobrecarga de 4.5 kg (10 lb) más una pesa de sobrecarga de 9.08 kg (20 lb).
- Nota 3: Esta carga mínima crea una intensidad de carga igual a la que produce una sobrecarga de 4.5 kg (10 lb) usada en el molde de 150 mm (6") de diámetro en el ensayo de CBR de laboratorio (norma INV E-148).*
- 4.8** Se fija el soporte del dial de penetración al pistón y se sujeta el dial a dicho soporte.
- 4.9** Se colocan en cero las lecturas de ambos diales.
- 4.10** Se aplica la carga al pistón de penetración de manera que la velocidad aproximada de penetración sea de 1.3 mm (0.05") por minuto. Utilizando la relación de multiplicación baja del gato durante el ensayo, se puede mantener una rata uniforme de penetración por parte del operario. Se deben registrar las lecturas del anillo de carga o de la celda de carga para cada 0.64 mm (0.025") de incremento de penetración, con aproximación de 111 kN (25 lbf), hasta una profundidad final de 12.70 mm (0.500"). En suelos homogéneos, frecuentemente se pueden omitir las profundidades de penetración mayores de 7.62 mm (0.300"). Se calcula el esfuerzo para cada incremento de penetración, en porcentaje. (Ver Sección 5 para los cálculos).

- 4.11** Al finalizar el ensayo, se debe obtener una muestra en el punto de penetración, para determinar la humedad. También, se debe determinar la densidad en un sitio alejado de 100 a 150 mm (4" a 6") del punto de penetración. La densidad se debe determinar de acuerdo con alguna de las normas INV-161, INV E-162 o INV E-164. La humedad se debe determinar aplicando alguna de las normas INV E-122, INV E-135, INV E-150 o INV E-164.

## 5 CÁLCULOS

---

- 5.1** *Curva Esfuerzo-Penetración* – Se calcula el esfuerzo de penetración para cada incremento de penetración, dividiendo la fuerza aplicada por el área del pistón. Se dibuja la curva que relacione los esfuerzos con las penetraciones respectivas, como se muestra en la Figura 169 - 3.
- 5.1.1** En ocasiones, la curva de esfuerzo vs penetración puede resultar cóncava hacia arriba en su parte inicial, debido a irregularidades de la superficie u otras causas; en tales casos, el punto cero se debe ajustar como se indica en la Figura 169 - 3.
- 5.2** *Relación de Soporte de California (CBR)* – De la curva (corregida cuando corresponda) se toman los valores de esfuerzo para penetraciones de 2.54 mm (0.100") y 5.08 mm (0.200") y se calculan las relaciones de soporte para cada uno, dividiendo los esfuerzos corregidos por los esfuerzos de referencia de 6.9 MPa (1000 lbf/pulg<sup>2</sup>) y 10.3 MPa (1500 lbf/pulg<sup>2</sup>), respectivamente, y se multiplica por 100. Se calcula, adicionalmente, la relación de soporte para el máximo esfuerzo, si la penetración es menor de 5.08 mm (0.200"), interpolando el esfuerzo de referencia. El CBR reportado para el suelo es, normalmente, el correspondiente a 2.54 mm (0.100") de penetración. Cuando la relación a 5.08 mm (0.200") de penetración (o a la máxima penetración, si es menor de 5.08 mm) resulta mayor, se repite el ensayo. Si el ensayo de comprobación da un resultado similar, se usa la relación de soporte determinada para 5.08 mm (0.200") o a la máxima penetración. Ninguna otra relación de soporte se puede identificar como valor de CBR.
- 5.3** Si se requieren los valores de la relación de soporte para penetraciones de 7.62, 10.16 y 12.7 mm (0.300", 0.400" y 0.500"), los valores de esfuerzo corregidos para estas penetraciones se deben dividir por los respectivos esfuerzos de referencia: 13.1, 15.9 y 17.9 MPa (1900, 2300 y 2600 lbf/pg<sup>2</sup>) y multiplicarse por 100.

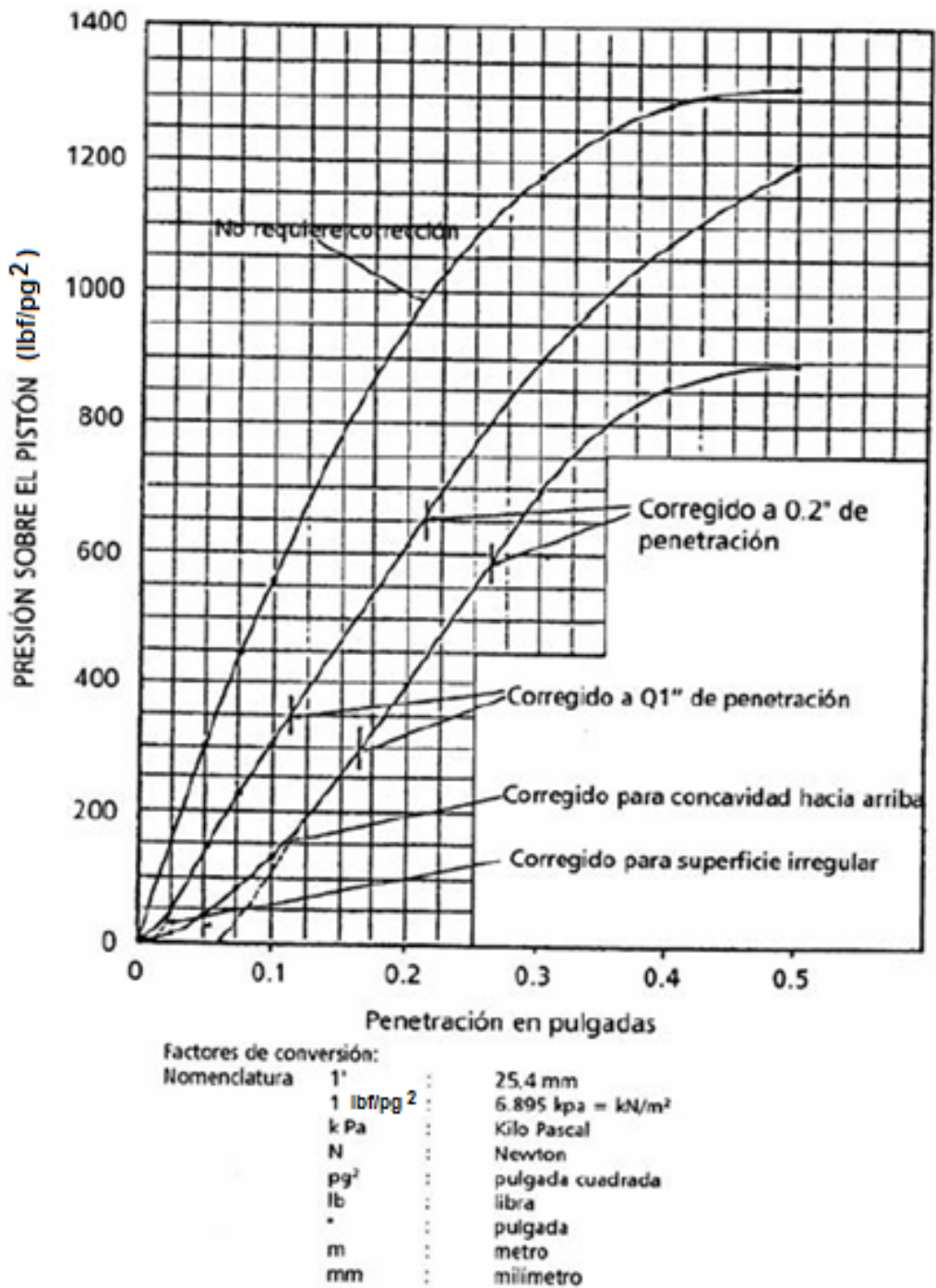


Figura 169 - 3. Corrección de curvas esfuerzo - penetración



## 6 INFORME

---

- 6.1 El informe debe incluir la siguiente información para cada ensayo:
  - 6.1.1 Localización del ensayo.
  - 6.1.2 Material ensayado.
  - 6.1.3 Profundidad del ensayo.
  - 6.1.4 Curva esfuerzo – penetración.
  - 6.1.5 Relación de soporte corregida para 2.54 mm (0.1") de penetración.
  - 6.1.6 Relación de soporte corregida para 5.08 mm (0.2") de penetración (o a la máxima penetración si no se alcanzó a penetrar hasta 5.08 mm).
  - 6.1.7 Contenido de agua y método usado para determinarlo.
  - 6.1.8 Densidad y método empleado para determinarla.

## 7 PRECISIÓN Y SESGO

---

- 7.1 *Precisión* – No se presentan datos sobre precisión. En el momento no es posible o resulta muy costoso convocar diez o más agencias de vialidad para participar en un programa de ensayos in-situ en un lugar específico.
- 7.2 *Sesgo* – No hay un valor aceptado como referencia contra el cual se pueda comparar, motivo por el cual no se puede determinar el sesgo.

## 8 NORMAS DE REFERENCIA

---

ASTM D 4429 – 09a

**Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente**

# ENSAYO DE CORTE EN SUELOS COHESIVOS USANDO LA VELETA DE CAMPO

INV E – 170 – 13

## 1 OBJETO

---

- 1.1** Esta norma establece el procedimiento del ensayo de veleta de campo en suelos arcillosos y limosos saturados, para determinar la resistencia al corte en condición no drenada. Para valorar la aplicación y la interpretación de la prueba, es necesario conocer la naturaleza del suelo en el cual se va a realizar cada ensayo. El ensayo no es aplicable a suelos arenosos, los cuales pueden permitir el drenaje durante el ensayo.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E–170–07.

## 2 DEFINICIONES Y SÍMBOLOS

---

### 2.1 *Definiciones generales:*

- 2.1.1** *Sensibilidad* – Efecto del remoldeo sobre la consistencia de un suelo cohesivo.
- 2.1.2** *Ensayo de corte con veleta* – Un ensayo de corte en el lugar, en el cual una varilla con paletas delgadas en su extremo es forzada dentro del suelo para determinar la resistencia a la rotación de la varilla.

### 2.2 *Definiciones de términos específicos de esta norma:*

- 2.2.1** *Resistencia al corte en condición no drenada* – Resistencia al corte de suelos finos (principalmente arcillas y limos arcillosos) bajo carga rápida, sin drenaje de la presión de poros.
- 2.2.2** *Resistencia al corte de suelo remoldeado en condición no drenada* – Resistencia al corte de suelos finos bajo carga rápida con poco o ningún drenaje de la presión de poros, luego de la falla significativa y del remoldeo de la estructura inicial del suelo.
- 2.2.3** *Veleta* – Dispositivo con cuatro paletas metálicas, delgadas y planas, dispuestas de manera que cada una forme ángulos de 90° con las

vecinas, el cual se inserta en el suelo y luego se rota alrededor de un eje vertical para realizar un ensayo de corte (Figura 170 - 1).

**2.2.4** *Zapata de la veleta* – Sección de tubería de revestimiento al final de la cual se puede retraer la veleta mientras se perfora o empuja (Figura 170 - 2).

### 2.3 *Símbolos generales:*

**2.3.1** *Resistencia al corte ( $S_u$ )* – Resistencia máxima del suelo al esfuerzo cortante en condición no drenada.

### 2.4 *Símbolos específicos de esta norma:*

**2.4.1** *Resistencia al corte pico no drenada ( $S_u$ )<sub>fv</sub>* – Resistencia medida durante la rotación inicial de la veleta en un ensayo de corte con veleta.

**2.4.2** *Resistencia al corte remoldeada no drenada ( $S_{ur}$ )<sub>fv</sub>* – Resistencia medida tras la falla significativa del suelo y luego de 5 a 10 rotaciones de la veleta en un ensayo de corte con veleta.

**2.4.3** *Sensibilidad ( $S_t$ )<sub>fv</sub>* – Relación  $(S_u)_{fv} / (S_{ur})_{fv}$ . La resistencia al corte remoldeada se mide luego de someter el suelo a una gran deformación de corte (Ver numerales 7.7 y 8.3).

**2.4.4** *Torque ( $T$ )* – Momento requerido para rotar la veleta.

*Nota 1: En la presente norma se usan indistintamente los términos torque y momento de torsión.*

**2.4.5** *Relación de área de la veleta ( $V_A$ )* – Relación entre la sección transversal de la veleta y el área circular que ella genera al girar, expresada en porcentaje (ver Figura 170 - 3).

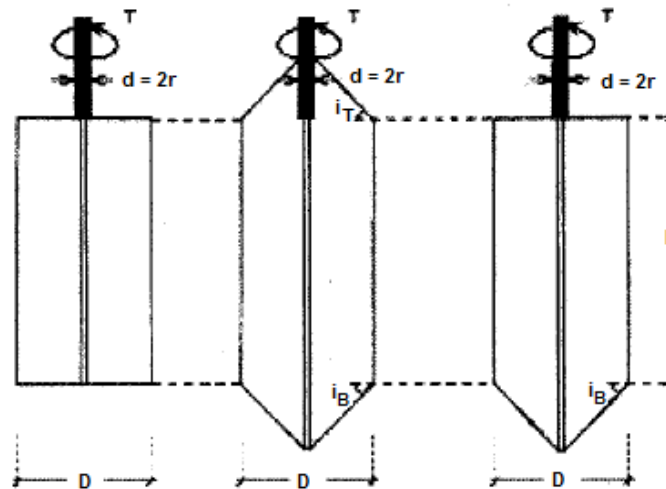


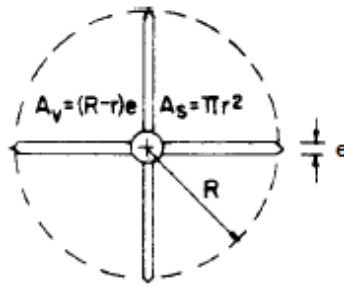
Figura 170 - 1. Geometría de las veletas



Figura 170 - 2. Zapata de la veleta

### 3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1** El ensayo de corte con veleta consiste, básicamente, en colocar una veleta de cuatro paletas dentro del suelo inalterado y girarla desde la superficie para determinar el torque necesario para cortar una superficie cilíndrica con ella. Este torque o momento de torsión se convierte en una resistencia unitaria al corte de la superficie de falla, mediante un análisis de equilibrio límite. La fricción de la varilla se minimiza durante las lecturas mediante un encamisado especial o teniéndola en cuenta y sustrayéndola del torque total para determinar el torque aplicado a la veleta.



$$V_A = \frac{4(R-r)e + \pi r^2}{\pi R^2} \times 100$$

$V_A$  = Relación de área de la veleta

$R$  = Radio del círculo de falla, mm (pg)

$r$  = Radio del eje de la veleta, mm (pg)

$e$  = Espesor de la paleta de la veleta, mm (pg)

TIPO DE VELETA	DIÁMETRO DE LA VELETA	DIÁMETRO DEL EJE	ESPESOR DE PALETA	RELACIÓN DE ÁREA (%)
Miniatura	12.7 mm (0.50")	3.5 mm (0.1275")	0.5 mm (0.019")	13.7

Figura 170 - 3. Ejemplo de cálculo de la relación de área de una veleta

## 4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1** Este método de ensayo da una indicación de la resistencia al corte en el lugar, en condición no drenada, de suelos finos arcillosos y limosos u otros geomateriales finos como residuos de minas, lodo orgánico y otras sustancias a las cuales se les requiera determinar la resistencia al corte en condición no drenada. El ensayo es aplicable a suelos con resistencias inferiores a 200 kPa, en condición no drenada. Los suelos muy sensibles pueden ser remoldeados con la simple inserción de la veleta.
- 4.2** Este método de ensayo se emplea en una gran variedad de exploraciones geotécnicas para hacer análisis de esfuerzos totales de arcillas y limos saturados. El ensayo se realiza de manera rutinaria en conjunto con otras pruebas de campo y de laboratorio.
- 4.3** Generalmente, la resistencia al corte pico no drenada del ensayo de la veleta se corrige para determinar la resistencia al corte no drenada requerida en los

estudios geotécnicos. En el Anexo A se presenta información en relación con el uso de los factores de corrección.

- 4.4** Este método no se puede emplear en arenas, gravas u otros suelos de alta permeabilidad. Con las velocidades de corte descritas en esta norma, los lentes de arena, si los hay, permiten el drenaje total o parcial. En corte rápido, los suelos con alta permeabilidad se pueden dilatar o colapsar, generando presiones de poros negativas o positivas que se pueden disipar en el proceso de corte. Es importante verificar el tipo de suelo que se ensaya con este método; en ese orden de ideas, resulta útil muestrear el suelo antes o después del ensayo, para comprender sus condiciones de permeabilidad.
- 4.5** A menudo, este ensayo se realiza en orificios de sondeos o mediante métodos de auto empuje, auto barrenado o empuje (zapata de veleta). El método aplica, también, a ensayos de corte con la veleta manual a muy poca profundidad; sin embargo, el equipo manual es menos preciso, por cuanto es más difícil mantener la estabilidad y la verticalidad del conjunto varilla-veleta.

## 5 EQUIPO

---

- 5.1** *Veleta* – Dispositivo de cuatro paletas, como el mostrado en la Figura 170 - 1. Normalmente, las paletas están construidas en acero. Se pueden emplear aleaciones diferentes, como el níquel-cromo, o procesos sobre el acero como el endurecimiento, para reducir el espesor de las paletas. Los extremos de la veleta pueden ser rectos o ahusados. Las dimensiones deben ser las siguientes, con referencia a los símbolos de la Figura 170 - 1.
- Diámetro de la veleta,  $D = 35$  a  $100$  mm ( $1.5$  a  $4$ "");
  - Diámetro de la varilla,  $d = 12.5$  a  $16.5$  mm ( $0.5$ "");
  - Altura de la veleta,  $H =$  De una a dos veces y media su diámetro;
  - Ángulo de ahusado,  $i$ : Usualmente  $0^\circ$  (rectangular) o  $45^\circ$  (ahusado).
- 5.1.1** Para una buena resolución del torque, se debe escoger un diámetro de veleta lo suficientemente grande para proporcionar una resolución óptima. El diámetro elegido está relacionado directamente con la consistencia del suelo que se va a ensayar. En suelos blandos se requiere una veleta grande, para obtener una buena resolución. En suelos duros resultan más adecuadas las veletas pequeñas, para evitar

el daño del dispositivo de medida del torque. Cuando se usa en orificios barrenados, el tamaño máximo de la veleta depende del diámetro interior del sondeo o de la tubería de revestimiento.

- 5.1.2** *Espesor de las paletas (e)* – El espesor máximo debe ser menor de 3 mm. El espesor promedio debe ser 2 mm. El borde la paleta se puede biselar para reducir la perturbación del suelo durante la inserción.
- 5.1.3** El diámetro “d” del eje de la veleta (mostrado también como “2r” en la Figura 170 - 1) debe ser menor de 17 mm encima de la parte superior de las paletas y no debe exceder de 14 mm en el centro de la veleta.
- 5.1.4** *Relación de área de la veleta ( $V_A$ )* – Debe ser menor de 12 %. Cuando las paletas son ahusadas y sus bordes biselados, se puede reducir a menos de 10 %.
- 5.1.5** La distancia “l” desde la parte superior de la veleta hasta donde se puede incrementar el diámetro de la varilla de torque es 5d, siendo d el diámetro del eje de la veleta en la parte superior de ésta. Si se usa un diámetro mayor de acoplamiento de fricción o de collar de la varilla de torque, la distancia “l” deberá ser 150 mm (6”).
- 5.1.6** Una veleta con los bordes superiores ahusados tiene la ventaja de que no requiere un encamisado exterior.
- 5.1.7** El borde inferior de las paletas de la veleta debe ser afilado para facilitar la penetración dentro del suelo. Los bordes de las caras laterales de las paletas pueden ser afilados y biselados para contrarrotar contra un acoplamiento de fricción.
- 5.2** *Dispositivo para la medida del torque* – El torque se debe aplicar a las varillas y de allí a la veleta. Ello se logra con un dispositivo de fijación y un aparato de aplicación de torque instalado en la parte superior de las varillas. La exactitud de la lectura del torque debe ser tal, que no se produzca una variación mayor de  $\pm 1\text{kPa}$  ( $\pm 20.9\text{ lbf}/\text{pie}^2$ ) en el esfuerzo de corte computado.
- 5.2.1** Es preferible aplicar el torque a la veleta con un engranaje de transmisión. Si no lo hay, se acepta aplicarlo directamente a mano con una llave de torsión o una herramienta equivalente. Cuando el torque se aplique manualmente, se deberá colocar un asterisco junto al resultado del esfuerzo cortante, incluyendo, además, la anotación:



“momento de torsión aplicado manualmente”. La duración del ensayo se deberá controlar de acuerdo con lo indicado en el numeral 7.6.

**5.2.2** Algunos dispositivos para la medida del torque presentan los resultados en papel o en registros computacionales. Otros, usan anillos de torque y diales micrométricos. Los sistemas automáticos son ventajosos, ya que se reduce el error del operario y se obtiene un registro continuo durante la ejecución del ensayo.

**5.3** *Varillas de torque* – La veleta está unida a la superficie por medio de varillas de torque elaboradas en acero. Su diámetro varía de 18 a 25 mm (0.5 a 1"). Deben tener diámetro suficiente para que su límite elástico no sea excedido cuando la veleta es esforzada a su máxima capacidad (nota 2). Se deben acoplar de manera que las salientes de los extremos del macho y de la hembra empalmen para prevenir cualquier posibilidad de que se apriete el acoplamiento cuando se aplica el torque durante el ensayo.

**5.3.1** *Revestimiento de protección y zapata de la veleta* – Las varillas de torque se pueden encamisar en una tubería de revestimiento de menor diámetro, para reducir la fricción de la varilla. Si se usa un revestimiento de este tipo o una tubería en conjunto con una zapata de veleta, las varillas de torque deben estar equipadas con cojinetes bien lubricados donde ellas pasan a través del revestimiento. Los cojinetes deben estar provistos de sellos para prevenir la inclusión de suelo. El revestimiento puede requerir alivio de las presiones de poros. Las varillas de torque deben ser guiadas de manera de prevenir la fricción que se pueda desarrollar entre ellas y las paredes de la tubería o del barreno.

**5.3.2** Se permiten las medidas de la fricción de la varilla bajo la condición sin carga (como usar una varilla lisa en el lugar donde debe ir la veleta), solamente si el torque es aplicado mediante un momento balanceado que no dé como resultado un empuje lateral. A medida que el momento de torsión se hace mayor durante un ensayo, un empuje lateral en el instrumento se traduce en un aumento de fricción que no es tenido en cuenta para las lecturas iniciales de la condición sin carga. No existen instrumentos que consideren el empuje lateral. La varilla de la veleta debe tener la rigidez suficiente para que no sufra una torsión excesiva bajo condiciones de carga plena; de lo contrario, se debe realizar una corrección antes de dibujar las curvas torque–rotación. La mayoría de las varillas que cumplen los requisitos de esta norma sufren

torsión durante el ensayo y se requiere una corrección si se va a determinar la rotación de la veleta.

*Nota 2: Si se van a determinar las curvas torque-rotación, se deben calibrar las varillas de torque. La magnitud de la torsión de las varillas se indica en grados/metro por torque unitario. Esta corrección se hace progresivamente más importante a medida que la profundidad de ensayo aumenta, y se debe hacer, al menos, a la máxima profundidad anticipada de ensayo. De modo alterno, la torsión se puede calcular con base en las propiedades de la varilla. Si se calcula la torsión, en el informe del ensayo se deben mencionar las suposiciones sobre las propiedades del material.*

- 5.4 Acoplamiento de fricción** – La conexión entre la veleta y las varillas puede incluir un dispositivo de acoplamiento de fricción o de acoplamiento deslizante. El dispositivo se usa con sistemas de varilla simple, donde la veleta puede ser llevar en avance respecto de la tubería de revestimiento. El dispositivo está diseñado de manera de no comprometer la veleta sino hasta cierta cantidad de rotación, típicamente 15 grados, y permitir así la determinación de la fricción de la varilla antes del ensayo. Se prefiere usar este acoplamiento al ensayo de varilla lisa para determinar la fricción de la varilla, puesto que las medidas se hacen directamente en el suelo ensayado.
- 5.5 Centralizadores** – En los ensayos que se realizan en barrenos, es necesario equipar las varillas de torque con centralizadores, para asegurar un empuje vertical y prevenir el alabeo de la varilla. Los centralizadores están diseñados para soportar las varillas, mientras minimizan cualquier fricción de ellas cuando se deflectan. Los centralizadores deben tener un diámetro menor que el del barreno y deben estar diseñados para permitir el paso de los fluidos de la perforación.
- 5.6 Equipo de avance** – Cuando la veleta se usa en orificios de sondeos, los dispositivos del aparejo del equipo de perforación se pueden usar para empujar la veleta más abajo del fondo de la perforación. Es importante que se mantenga la verticalidad del equipo de veleta. Los centralizadores se pueden usar en conjunto con la tubería de revestimiento, para garantizar que el empuje sea recto.
- 5.7 Tubería de reacción** – En aplicaciones de perforación, donde el cabezal del torque se sujeta a la tubería, puede ser necesario el uso de una tubería superior con salientes para asegurar la reacción del torque. Típicamente, la barrena de vástago hueco (norma ASTM D 6151) proporciona la reacción suficiente para un cabezal del torque sin salientes. La necesidad de esta tubería se puede establecer por el deslizamiento de la tubería de revestimiento o de las barrenas durante el ensayo, lo que produce caídas

periódicas o intermitentes en el torque. Si ocurre deslizamiento, se usa la tubería de reacción o se le hace menos limpieza a los pasos de la barrena.

- 5.8** *Tubería de revestimiento de la veleta* – Algunos sistemas de veleta están diseñados para retraerse dentro de una tubería equipada con una broca cortante (broca de arrastre de cuatro hojas). Los fluidos pueden circular a través de la herramienta de corte. Cuando se alcanza la profundidad de ensayo, la veleta se puede empujar dentro del suelo en el intervalo elegido para el ensayo.

## 6 CALIBRACIÓN

---

- 6.1** El dispositivo para medir el torque se calibra insertando en él una varilla con un volante de inercia. Se cuelgan de la varilla unos pesos conocidos ( $W$ ) con un radio establecido ( $R_w$ ) y se toman medidas del momento de torsión que se comparan con los torques aplicados ( $T = W \times R_w$ ).
- 6.2** El dispositivo para medir el torque se debe calibrar a unos intervalos regulares de tiempo o de uso, de acuerdo con un plan de calidad sistemático. Los registros de calibración de cada instrumento se deben mantener a mano, para revisión durante los ensayos.
- 6.3** Si el dispositivo para medir el torque sufre algún deterioro, se deberá calibrar de nuevo luego de la reparación.
- 6.4** El informe de calibración debe incluir la fecha de construcción del dispositivo, la fecha de calibración y un registro del uso al cual ha sido sometido desde la última calibración.

## 7 PROCEDIMIENTO

---

- 7.1** Se ubica el equipo de avance sobre el lugar del ensayo. La prueba se puede efectuar en un barreno elaborado con anterioridad; presionando desde la superficie, o perforando a través de una tubería de revestimiento para la veleta.
- 7.2** De ser necesario, se pone una tubería de reacción para transferir fuerzas al cabezal de torque sin torsión o deslizamiento.

- 7.3** Cuando se perfora sin revestimiento, se suspende la perforación a una profundidad tal, que la punta de la veleta pueda penetrar suelo inalterado por una profundidad de, por lo menos, 5 veces el diámetro del barreno (Figura 170 - 4). Si se usa una veleta con revestimiento, se avanza el revestimiento hasta una profundidad no menor de 5 veces el diámetro del revestimiento, por encima de la profundidad deseada de la punta de la veleta.

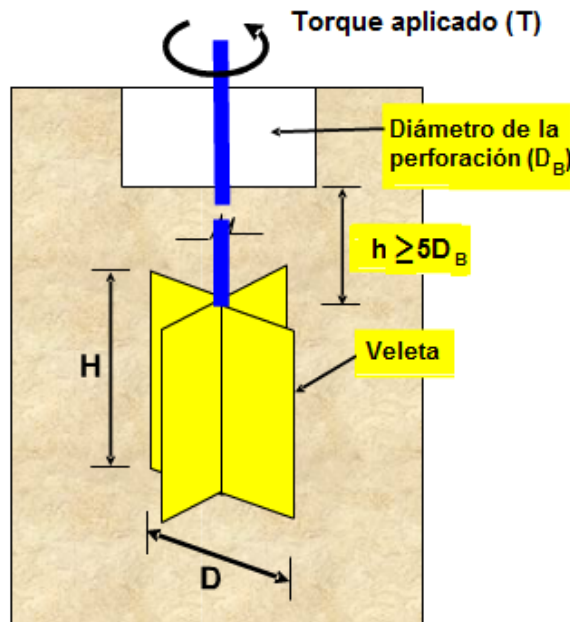


Figura 170 - 4. Caso de perforación sin revestimiento

- 7.4** Se deberá penetrar la veleta desde el fondo del agujero o de su revestimiento, mediante un empuje simple, hasta la profundidad a la cual se va a efectuar el ensayo, cuidando que no se apliquen golpes, vibración o rotación durante dicho empuje. No se debe aplicar torque durante el empuje.

**7.5** *Determinaciones de fricción:*

**7.5.1** *Fricción desde acoplamientos para deslizamiento* – Para veletas con acoplamientos para deslizamiento, luego de empujar la veleta, la primera parte del ensayo consistirá en aplicar un torque y medir la fuerza requerida para rotar las varillas sobre el acoplamiento de deslizamiento. La fuerza se debe aplicar a la misma velocidad de carga real de la veleta (Ver numeral 7.6). Se anota la fricción de la varilla.

**7.5.2** *Ensayos de fricción de la varilla lisa (sin la veleta)* – En el caso donde el suelo está en contacto con las varillas de torque, y no hay

acoplamiento para deslizamiento, se determina la fricción entre el suelo y la varilla por medio de ensayos de momento de torsión conducidos sobre varillas similares y a profundidades similares, sin la veleta acoplada. Estas pruebas se pueden realizar en los intervalos entre los ensayos de veleta. El ensayo de fricción de la varilla se debe efectuar por lo menos una vez en cada sitio, mediante una serie de pruebas de torque a diferentes profundidades.

- 7.6** El tiempo transcurrido entre el final de la penetración de la veleta y el comienzo de la rotación no debe ser superior a 5 minutos. Con la veleta en posición, se deberá aplicar el giro a una velocidad que no exceda de  $0.1^\circ/\text{segundo}$  (se acepta un rango de  $0.05$  a  $0.2^\circ/\text{s}$ ). Generalmente, se requieren entre 2 y 5 minutos para la falla, excepto en arcillas muy blandas, en las cuales el tiempo de falla puede elevarse a 10 o 20 minutos. En materiales más duros, que alcanzan la falla con una deformación pequeña, se puede reducir la rata del desplazamiento angular, de tal manera que se pueda obtener una determinación razonable de las propiedades esfuerzo-deformación. Durante la rotación de la veleta, ésta se deberá mantener a una altura fija. Se deberá registrar el momento de torsión máximo. Con aparatos con diales de lectura manual, es aconsejable anotar los valores intermedios del momento de torsión que se va obteniendo a intervalos de 15 segundos o menores, si se requiere. Si ocurre algo inusual durante el ensayo, se deberá dejar constancia escrita de ello.
- 7.7** Después de determinar el máximo momento de torsión, se rota rápidamente la veleta un mínimo de 5 a 10 revoluciones. La determinación de la resistencia remoldeada debe comenzar inmediatamente después de que se complete la rotación rápida y nunca más de 1 minuto después del proceso de remoldeo (nota 3).

*Nota 3: Se puede obtener la resistencia residual de muchos suelos sensitivos, con una o dos revoluciones menos. Cuando se estén ensayando tales suelos, se recomienda obtener varias resistencias en condición remoldeada usando el número de revoluciones normalizado (5 a 10) para verificación. Si no se advierten mayores diferencias en las resistencias remoldeadas, éstas se podrán obtener con un número de revoluciones inferior al normalizado.*

- 7.8** Cuando se combine con métodos de rotación, puede ser ventajoso tomar muestras en el intervalo de ensayo con un tubo de pared delgada o una barrena de tubo doble. El sobre-muestreo permitirá inspeccionar el suelo en la zona de ensayo. A menudo, se encuentran evidencias de la zona de corte en las muestras. Cuando esto suceda, se deberá describir el suelo (o los suelos) presente(s) en ella.

- 7.9** Se deben conducir ensayos de veleta en condición intacta y remoldeada, a intervalos de no menos de 0.50 a 0.75 m, a través del perfil del suelo, cuando las condiciones lo permitan (nota 4). No se deben realizar ensayos de veleta en suelos que permitan el drenaje o se dilaten durante la época del ensayo, como las arcillas duras, arenas o limos arenosos, o suelos donde la veleta encuentra piedras o conchas que puedan afectar los resultados.

*Nota 4: El intervalo solo puede ser modificado por el ingeniero a cargo del estudio.*

## 8 CÁLCULOS

- 8.1** Se calcula la resistencia al corte del suelo en condición no drenada ( $S_{uv}$ ) con las ecuaciones que se presentan en seguida, las cuales se pueden encontrar en cualquier sistema de unidades, siempre y cuando haya consistencia en las unidades de resistencia al corte, torque y diámetro.

- 8.1.1** Para una veleta rectangular de  $H/D = 2$ :

$$(S_u)_{fv} = \frac{6 T_{m\acute{a}x}}{7 \pi D^3} \quad [170.1]$$

Donde:  $(S_u)_{fv}$ : Resistencia al corte no drenada del ensayo de la veleta;

$T_{m\acute{a}x}$ : Valor del torque máximo medido, corregido por la fricción del aparato y la varilla;

D: Diámetro de la veleta (Figura 170 - 1).

- 8.1.2** Para veletas ahusadas y otros tipos (publicación ASTM STP 1014, páginas 88–103):

$$(S_{ur})_{fv} = \frac{12 T_{m\acute{a}x}}{\pi D^2 \left( \frac{D}{\cos(i_T)} + \frac{D}{\cos(i_B)} + 6H \right)} \quad [170.2]$$

Donde:  $(S_u)_{fv}$ : Resistencia al corte no drenada del ensayo de la veleta;

$T_{m\acute{a}x}$ : Valor del torque máximo medido, corregido por la fricción;

D: Diámetro de la veleta (Figura 170 - 1);

- H: Altura de la veleta (Figura 170 - 1);
- $i_T$ : Ángulo del ahusamiento de la veleta en la parte superior (Figura 170 - 1);
- $i_B$ : Ángulo del ahusamiento de la veleta en la parte inferior (Figura 170 - 1);

**8.1.3** La lectura de torque del instrumento puede requerir el uso de una constante de calibración, según el tipo de aparato empleado.

**8.2** *Resistencia al corte pico no drenada  $(S_u)_{fv}$*  – Se calcula a partir del máximo torque registrado para la primera carga de la veleta, en acuerdo con el numeral 8.1 (nota 5).

*Nota 5: La resistencia al corte pico no drenada del ensayo de la veleta se debe multiplicar por un factor de corrección para la veleta ( $\mu$ ), para dar un valor de campo movilizado de la resistencia no drenada  $(S_u)_{campo}$  para análisis geotécnico. Ver Anexo A.*

**8.3** *Resistencia al corte remoldeada no drenada  $(S_{ur})_{fv}$*  – Se calcula en acuerdo con el numeral 8.1, luego de rotar la veleta como se especifica en el numeral 7.7 y midiendo el torque residual.

**8.4** *Sensibilidad  $(S_t)_{fv}$*  – Se calcula con la expresión  $(S_u)_{fv} / (S_{ur})_{fv}$ .

## 9 INFORME

---

**9.1** Para cada ensayo de veleta se deben registrar los siguientes datos:

**9.1.1** Fecha del ensayo.

**9.1.2** Número del apique o perforación.

**9.1.3** Tamaño y forma de la veleta (ahusada o rectangular).

**9.1.4** Profundidad del extremo de la veleta.

**9.1.5** Profundidad del extremo de la veleta por debajo del revestimiento o fondo del hueco.

**9.1.6** Tiempo desde que se termina la penetración hasta que comienza la rotación.

- 9.1.7 Lectura máxima del momento de torsión (torque) y, si se requieren, lecturas intermedias para el ensayo inalterado.
  - 9.1.8 Tiempo del ensayo hasta la falla.
  - 9.1.9 Resistencia al corte pico no drenada  $(S_u)_{fv}$ .
  - 9.1.10 Número de revoluciones para el ensayo remoldeado.
  - 9.1.11 Velocidad del remoldeo.
  - 9.1.12 Lectura máxima del momento de torsión (torque) para el ensayo remoldeado.
  - 9.1.13 Resistencia al corte remoldeada no drenada  $(S_{ur})_{fv}$ .
  - 9.1.14 Determinaciones de fricción.
  - 9.1.15 Sensibilidad  $(S_t)_{fv}$ .
  - 9.1.16 Notas sobre cualquier clase de desviaciones con respecto al procedimiento normal de ensayo.
- 9.2 *Informe resumen* – Debe incluir la información que se indica a continuación, así como dibujos y tablas que muestren los datos de resistencia:
- 9.2.1 Descripción de la veleta y del método de avance; esto es, si tenía camisa o no.
  - 9.2.2 Descripción del método para aplicar y medir el momento.
  - 9.2.3 Cálculos, incluyendo las medidas de fricción de la varilla.
  - 9.2.4 Anotaciones sobre la resistencia de la veleta al empuje.
  - 9.2.5 Información sobre la calibración del dispositivo para la medida del torque.
- 9.3 Adicionalmente, se deben anotar las siguientes observaciones sobre la perforación:
- 9.3.1 Número del sondeo.



- 9.3.2 Sitio.
- 9.3.3 Condiciones del suelo en el sitio.
- 9.3.4 Cota de referencia.
- 9.3.5 Método de ejecución de la perforación.
- 9.3.6 Nombres del inspector de la perforación y del ingeniero supervisor.

## 10 PRECISIÓN Y SESGO

---

- 10.1 *Precisión* – No se presentan datos sobre precisión, debido a la naturaleza de este método de ensayo. En el momento no es posible o resulta muy costoso convocar diez o más agencias de vialidad para participar en un programa de ensayos in-situ en un lugar específico.
- 10.2 *Sesgo* – No hay un valor de referencia aceptado para este método de ensayo y, por lo tanto, no se puede determinar el sesgo.

## 11 NORMAS DE REFERENCIA

---

ASTM D 2573 – 08

### ANEXO A (Informativo)

#### FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA VELETA

---

- A.1 Es muy importante corregir la resistencia medida con la veleta, antes de usarla en análisis de estabilidad que involucren terraplenes sobre suelos blandos, capacidad portante y excavaciones en arcillas blandas. La resistencia movilizada al corte está dada por la expresión:

$$\tau_{\text{movilizada}} = \mu_v (S_u)_{fv} \quad [170.3]$$

Donde  $\mu_v$  es un factor empírico de corrección, que se relaciona con el índice de plasticidad y/o el límite líquido u otros parámetros basados en el retrocálculo de registros históricos sobre casos de fallas en proyectos reales. La sensibilidad se basa en la relación en bruto entre las resistencias pico y remodelada en su estado original y, por lo tanto, no necesita corrección.

**A.2** A continuación se presenta uno de los factores de corrección propuestos para los datos de la veleta de campo. Esta información no es de utilización obligatoria al emplear esta norma de ensayo y se presenta solamente para llamar la atención sobre la necesidad de aplicar algún factor de corrección.

**A.2.1** A partir de una extensa revisión de los factores y relaciones que afectan las medidas con la veleta en arcillas y limos con  $IP > 5$ , se sugiere la siguiente expresión:

$$\mu_v = 1.05 - b (IP)^{0.5} \quad [170.4]$$

Donde el parámetro “b” es un factor de velocidad que depende del tiempo transcurrido hasta la falla ( $t_f$  en minutos) en la falla real del suelo (no en el ensayo de campo), y está dado por:

$$b = 0.015 + 0.0075 (\log t_f) \quad [170.5]$$

Las relaciones combinadas se muestran en la Figura 170A - 1. Como una guía, los terraplenes sobre suelos blandos están asociados con tiempos hasta la falla de  $10^4$  minutos, debido al tiempo involucrado en la construcción con el uso de equipo pesado. En este caso, la ecuación 170.4 se convierte en:

$$\mu_v = 1.05 - 0.045 (IP)^{0.5} \quad [170.6]$$

**A.2.2** Curiosamente, se ha encontrado que la relación sin corrección ( $S_{uv}/\sigma_{vo}'$ ) aumenta con la plasticidad. Por el contrario, el factor de corrección ( $\mu_v$ ) decrece con el IP. El efecto neto, es que la resistencia movilizada calculada por retrocálculo a partir de casos históricos de falla que involucran terraplenes, fundaciones y excavaciones en suelos blandos es, esencialmente, independiente de la plasticidad. Aas et al. (nota A.1) han propuesto un método de corrección que utiliza la

relación ( $S_{uv}/\sigma_{vo}'$ ) como una variable independiente en lugar del índice plástico.

*Nota A.1: AAS, G., LACASSE, S., LUNNE, T., AND HOEG, K., "Use of In Situ Tests for Foundation Design on Clay," Use of In Situ Tests in Geotechnical Engineering, S.P., Clemence, Ed., GSP 6, American Society of Civil Engineers, New York, 1986, pp. 1-30.*

- A.2.3** La literatura técnica presenta factores de corrección alternativos, basados en recopilaciones de información sobre fallas de excavaciones, fundaciones y terraplenes, sobre datos de ensayos en el terreno y en el laboratorio; sobre consideraciones de estabilidad tridimensional, y sobre análisis de esfuerzos efectivos.

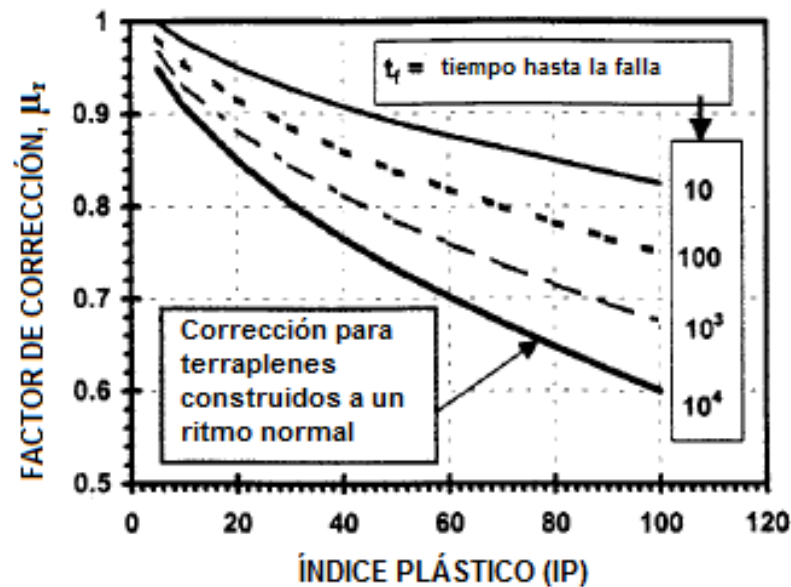


Figura 170A - 1. Factor de corrección propuesto para el corte con veleta, a partir del IP del suelo

**Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente**

# USO DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO EN APLICACIONES DE PAVIMENTOS A POCA PROFUNDIDAD

INV E – 172 – 13

## 1 OBJETO

---

- 1.1** Este método de ensayo cubre la medida de la rata de penetración del penetrómetro dinámico de cono (PDC) con un martillo de 8 kg (17.6 lb), a través de un suelo inalterado o de materiales compactados. La rata de penetración puede ser relacionada con valores de resistencia in-situ, tales como el CBR (*California Bearing Ratio*). La masa unitaria del suelo también se puede estimar (nota 1) si se conocen el tipo de suelo y su contenido de agua. El PDC descrito en esta norma de ensayo es utilizado principalmente en aplicaciones relacionadas con pavimentos.
- 1.2** Este método de ensayo permite el uso opcional de un martillo deslizante de 4.6 kg (10.1 lb) en lugar del de 8 kg (17.6 lb), si este último produce una penetración excesiva en suelos muy blandos.
- 1.3** Esta norma reemplaza la norma INV E-172-07.

## 2 DEFINICIONES

---

- 2.1** *Penetrómetro dinámico de cono (PDC) con un martillo de 8 kg (17.6 lb) (Figura 172 - 1)* – Es un dispositivo utilizado para evaluar la resistencia in-situ de suelos inalterados o de materiales compactados.
- 2.2** *Accesorio de deslizamiento (Figura 172 - 1)* – Un dispositivo opcional que facilita la lectura de la distancia que penetra dentro del suelo la punta del penetrómetro dinámico de cono (PDC). Generalmente va asegurado al yunque del aparato o a la varilla inferior y se sostiene y se desliza sobre una escala independiente o puede estar sostenido por una varilla externa y deslizar a lo largo de la varilla inferior del penetrómetro.

### 3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1 El operador dirige la punta del PDC dentro del suelo, levantando el martillo deslizante hasta la manija y soltándolo para que caiga libremente hasta golpear el yunque. La penetración total para un determinado número de golpes es medida y registrada en términos de milímetros por golpe, valor que se utiliza para describir la rigidez, para estimar un valor de la resistencia CBR in-situ a través de una correlación apropiada o para establecer otras características del material.

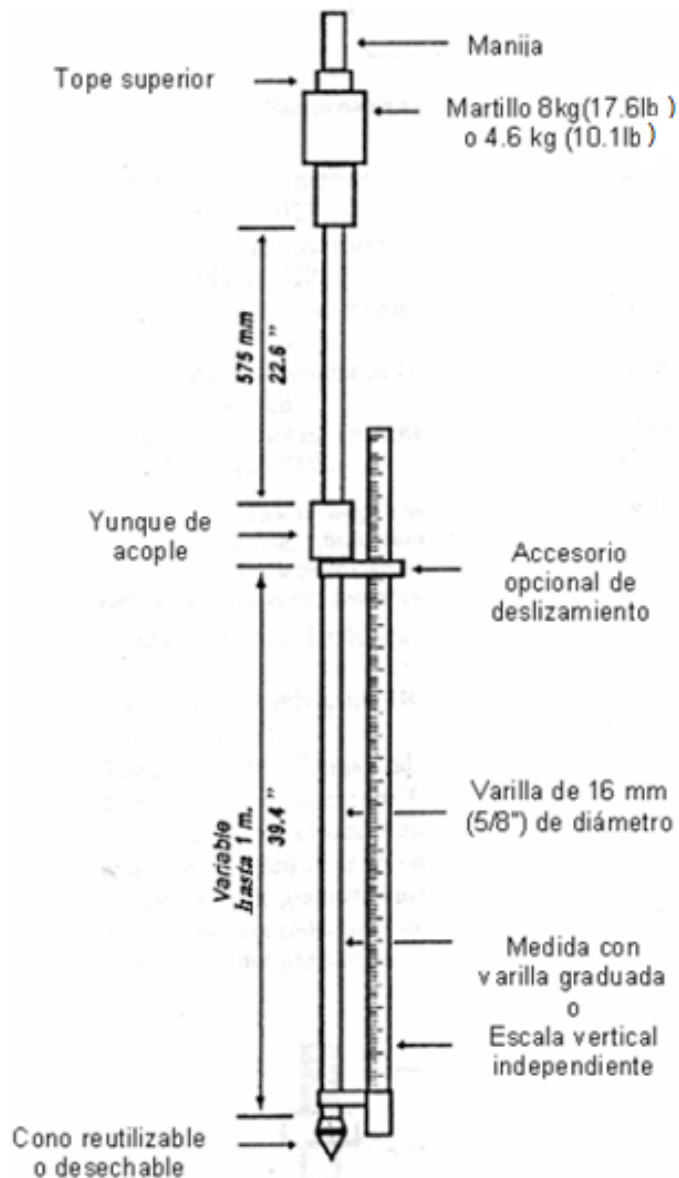


Figura 172 - 1. Esquema del dispositivo PDC

## 4 IMPORTANCIA Y USO

---

- 4.1** Este método de ensayo se usa para evaluar la resistencia in-situ de suelos inalterados y/o materiales compactados. La rata de penetración del PDC de 8 kg (17.6 lb) se puede utilizar para estimar el CBR in-situ; para identificar los espesores de las capas; así como para estimar la resistencia al corte de las capas y otras características de los materiales que las constituyen.
- 4.1.1** Existen otros métodos de ensayo para penetrómetros con diferentes masas de martillo y tipos de puntas cónicas, los cuales tienen correlaciones que son aplicables únicamente a esos instrumentos específicos.
- 4.2** El PDC de 8 kg (17.6 lb) debe ser sostenido verticalmente durante su empleo y, por lo tanto, es utilizado fundamentalmente en aplicaciones de construcciones horizontales, tales como pavimentos y losas de piso.
- 4.3** El instrumento se emplea en la evaluación de las propiedades de los materiales a una profundidad hasta de 1000 milímetros (39") bajo la superficie. La profundidad de penetración se puede incrementar utilizando extensiones en la varilla inferior; sin embargo, si se emplean extensiones en la varilla inferior, se debe tener cuidado cuando se empleen las correlaciones para estimar otros parámetros, puesto que dichas correlaciones son solamente apropiadas para las configuraciones específicas del PDC. La masa y la inercia del dispositivo cambiarán y se producirá, inevitablemente, una resistencia adicional a la fricción a lo largo de las extensiones de la varilla.
- 4.4** El PCD de 8 kg (17.6 lb) se puede utilizar para estimar las características de resistencia de suelos de grano fino y grueso, materiales de construcción y materiales débiles modificados o estabilizados. El dispositivo no se puede emplear en materiales altamente estabilizados o cementados o en materiales granulares que contengan un gran porcentaje de agregados pétreos cuyas partículas tengan tamaños superiores a 50 milímetros (2").
- 4.5** El PDC de 8 kg (17.6 lb) se puede emplear para estimar la resistencia CBR in-situ de materiales que se encuentren por debajo de una capa altamente estabilizada, previo el barrenado de la misma para permitir un orificio de acceso.

*Nota 1: El PDC se puede utilizar para evaluar la densidad de un material razonablemente uniforme, relacionando la densidad con la tasa de penetración sobre el mismo material. De esta manera, se pueden identificar suelos deficientemente compactados o bolsas blandas, aunque el PDC no mida la densidad directamente.*

- 4.5.1** Una medida de campo del PDC da, por correlación, un valor de CBR de campo, y normalmente no correlaciona satisfactoriamente con el CBR del laboratorio sobre el mismo material. Este ensayo se debe interpretar, entonces, como evaluador de la resistencia in-situ del material, bajo las condiciones existentes en el terreno en el instante de la prueba.

## 5 EQUIPO

---

- 5.1** El PDC de 8 kg (17.6 lb) se muestra esquemáticamente en la Figura 172 - 1. Debe ser de acero inoxidable con excepción del cono, el cual puede ser de acero endurecido u otro material similar, resistente al desgaste. Está constituido por los siguientes elementos:
- 5.1.1** Una varilla de acero de 16 milímetros (5/8") de diámetro, con una punta cónica reutilizable o desechable.
  - 5.1.2** Un martillo de 8 kg (17.6 lb), el cual es accionado desde una altura fija de 575 milímetros (22.6").
  - 5.1.3** Un yunque de ensamble y una manija. La punta del cono tiene un ángulo de 60° y el diámetro en la base del cono es de 20 milímetros (0.79") (Ver Figura 172 - 2).
- 5.2** Se deben cumplir las siguientes tolerancias:
- 5.2.1** La tolerancia en el peso del martillo de 8 kg (17.6 lb) es 0.010 kg (0.02 lb).
  - 5.2.2** La tolerancia en el peso del martillo de 4.6 kg (10.1 lb) es 0.010 kg (0.02 lb).
  - 5.2.3** La tolerancia en la altura de caída de 575 mm (22.6") es 1 mm (0.04").
  - 5.2.4** La tolerancia en el ángulo de la punta del cono de 60° es 1°.
  - 5.2.5** La tolerancia en la base de medida del cono de 20 mm (0.79") es 0.25 mm (0.01").



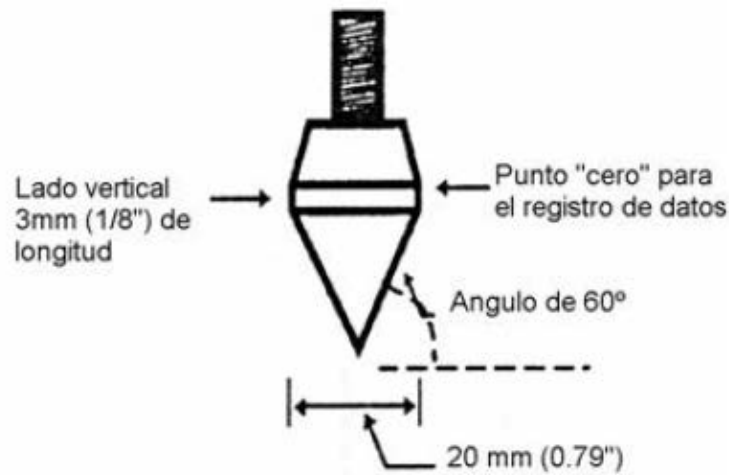


Figura 172 - 2. Cono reutilizable

*Nota 2: Se puede emplear un cono de tipo desechable. La punta cónica desechable es sostenida en el lugar con un aro de presión, el cual permite a la punta zafarse fácilmente cuando la varilla es tirada hacia arriba luego de completado el ensayo. El cono de tipo desechable se muestra esquemáticamente en la Figura 172 - 3.*

**5.3** Además del penetrómetro dinámico de cono (PDC), se requiere el siguiente equipo:

**5.3.1** Herramientas para ensamblaje del PDC.

**5.3.2** Aceite lubricante.

**5.3.3** Llave para atornillar.

**5.3.4** Formato para el registro de los datos (ver Tabla 172 - 1).

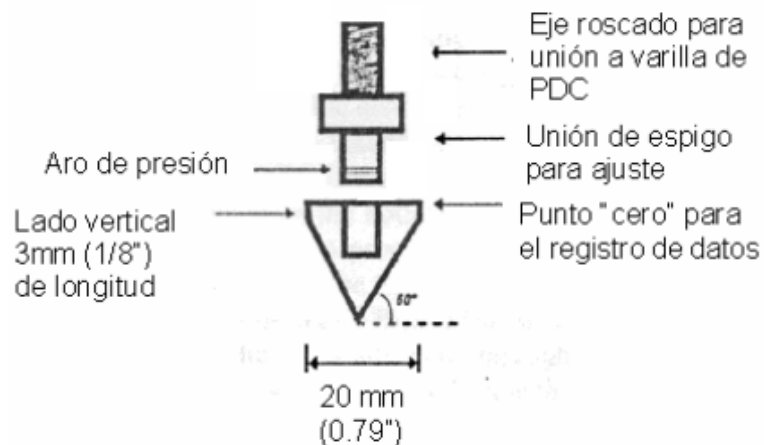


Figura 172 - 3. Cono desechable

Tabla 172 - 1. Formato de registro de datos del PDC

Proyecto: Carretera Servicio Forestal				Fecha: Julio 7 /2001			
Localización: Estación 30+50				Personal: JLS y SDT			
Profundidad del punto cero bajo la superficie: 0				Peso del martillo: 8 kg			
Clasificación del material: GW/CL				Tiempo: Predicción 25° C			
Condición del pavimento: No aplica				Nivel freático: desconocido			
1	2	3	4	5	6	7	8
Número de golpes A	Penetración acumulada B (mm)	Penetración entre lecturas C (mm)	Penetración por golpe D (mm)	Factor del martillo E	Índice PDC F mm/golpe	CBR % <sup>G</sup>	Humedad (%) <sup>H</sup>
0	2	--	--	--	--	--	--
5	25	25	5	1	5	50	
5	55	30	6	1	6	40	
15	125	70	5	1	5	50	
10	175	50	5	1	5	50	
5	205	30	6	1	6	40	
5	230	25	5	1	5	50	
10	280	50	5	1	5	50	
5	310	30	6	1	6	40	
5	340	30	6	1	6	40	
5	375	35	7	1	7	35	
5	435	60	12	1	12	18	

A - Número de golpes de l martillo entre lecturas

B - Penetración acumulada luego de cada serie de golpes

C - Diferencia de penetración acumulada (nota B) entre lecturas

D - Nota C / Nota A

E - Colocar "1" si el martillo es de 8 kg y "1/2" si el martillo es de 4.6 kg

F - Nota D x Nota E

G - De la correlación entre el CBR y el índice PDC

H - Porcentaje de agua (cuando se disponga del dato)

**5.4** Dependiendo de las circunstancias, puede ser necesario el siguiente equipo adicional:

**5.4.1** Una escala vertical graduada en incrementos de 1 mm (0.04") o una varilla de medición más larga que la varilla de penetración del PDC, si esta última no está graduada.

**5.4.2** Un dispositivo deslizante opcional para el uso de una regla o escala separada de la varilla de penetración.

**5.4.3** Un sacanúcleos apropiado para perforar orificios de un diámetro mínimo de 25 mm (1"). Se puede requerir una perforación de mayor diámetro, dependiendo del material subyacente o de la necesidad de ensayos adicionales o de muestreo.

**5.4.4** Una aspiradora húmeda /seca o una alternativa adecuada para remover el material suelto y fluido, si se realiza un orificio de acceso antes del ensayo.

**5.4.5** Fuentes de poder para los elementos citados en los numerales 5.4.3 y 5.4.4.

- 5.4.6** Puntas cónicas desechables.
- 5.4.7** Martillo de doble masa (ver Figura 172 - 4).
- 5.4.8** Gato de extracción, el cual se recomienda si no se emplean puntas cónicas desechables (ver Figura 172 - 5).

*Nota 3: Se puede emplear un martillo de 4.6 kg (10.1 lb) (ver Figura 172 - 4) en lugar del martillo de 8 kg (17.6 lb), siempre y cuando la altura normalizada de caída del martillo se mantenga. El martillo de 4.6 kg (10.1 lb) se emplea en materiales débiles, donde el martillo de 8 kg (17.6 lb) puede producir penetraciones excesivas.*

*Nota 4: Se puede emplear una versión automatizada del PDC (PDCA), siempre que se cumplan todos los requisitos de esta norma con respecto al aparato y al procedimiento de ensayo.*

*Nota 5: Se permite emplear un sistema automático de recolección de datos, si mide y registra con aproximación a 1 mm (0.04") y no interfiere ni con la operación ni con los resultados del dispositivo.*

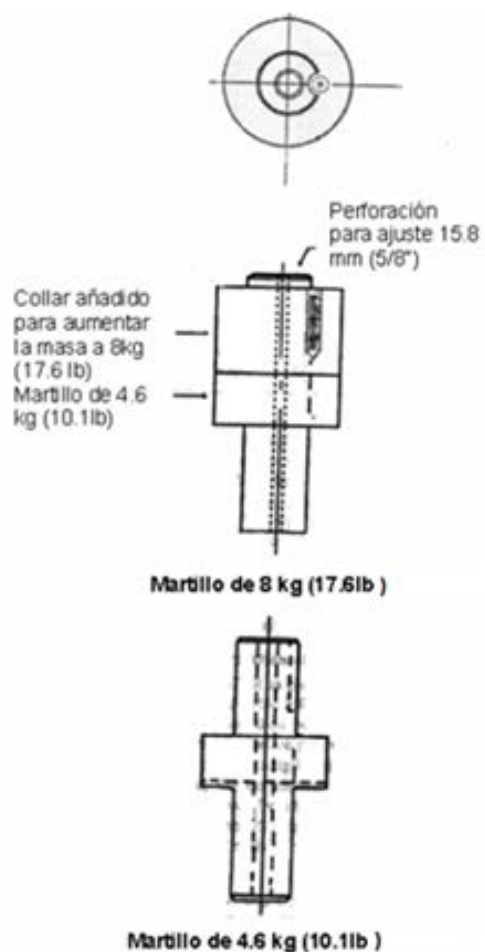


Figura 172 - 4. Esquema del martillo de doble masa

## 6 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Verificación del equipo** – Antes de comenzar un ensayo, se debe inspeccionar el dispositivo PDC en las partes que pueden sufrir daños por fatiga, en particular en el ensamble y en la manija y se debe verificar que no exista un excesivo desgaste de la varilla ni del cono reutilizable. Todas las juntas deben ser ajustadas con seguridad, incluyendo el yunque de ensamble y el cono reutilizable (o el adaptador del cono desechable) a la varilla de ensayo.
- 6.2 Operación básica** – El operador sostiene el dispositivo a través de la manija en una posición vertical o a plomo, y levanta y libera el martillo, de manera que caiga a la altura especificada. El encargado de registrar la información, mide y registra la penetración total para un determinado número de golpes o la penetración por cada golpe.

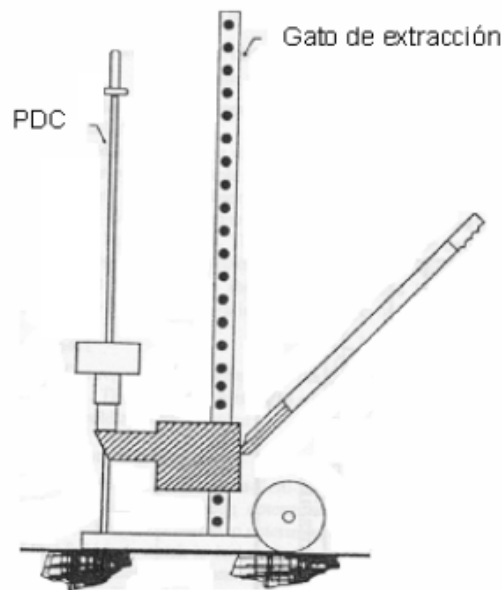


Figura 172 - 5. Esquema del gato extractor del PDC

### 6.3 Lectura inicial:

- 6.3.1 Ensayo de una capa superficial** – Se sostiene verticalmente el PDC y se asienta la punta de manera que la parte más ancha del cono se encuentre a nivel con la superficie del material a ser ensayado. En ese instante, se toma una lectura inicial de la varilla graduada o de la regla separada para la medición. La distancia se mide con aproximación a 1 mm (0.04"). Algunos accesorios deslizantes de referencia permiten a la

escala o a la varilla ser marcados con un "0" cuando el cono está en el punto cero mostrado en la Figura 172 - 2.

- 6.3.2** *Ensayo bajo una capa ligada* – Cuando se ensayen materiales bajo una capa ligada, se debe utilizar un sacanúcleos que cumpla los requisitos indicados en el numeral 5.4.3, para efectuar un orificio hasta la capa que será ensayada. La toma de núcleos por vía húmeda requiere que el fluido utilizado sea removido y el ensayo PDC sea realizado lo más rápidamente posible, sin exceder de 10 minutos luego de completada la operación de la toma del núcleo. No se debe permitir que el líquido empleado durante la toma del núcleo sature o penetre el material que va a ser ensayado. Se debe utilizar un dispositivo de aspiración húmedo/seco o una alternativa adecuada apenas se termine de tomar el núcleo, para remover los materiales sueltos y los fluidos del orificio de acceso, antes de realizar el ensayo. Para minimizar la extensión de la perturbación que produce el sacanúcleos, el taladrado no debe atravesar completamente la capa ligada, sino que debe ser suspendido aproximadamente a 10 o 20 mm (0.4 a 0.8") del fondo de ella. Entonces, se emplea el PDC para penetrar la parte final, de la capa ligada. Este puede ser un proceso complementario entre el taladrado y la ejecución de los ensayos de PDC, para determinar el espesor de la capa.
- 6.3.3** *Ensayo de pavimentos con sellos delgados* – Para pavimentos con sellos muy delgados, el cono es empujado a través del sello hasta que el punto cero (Ver Figura 172 - 2) se encuentre a ras con la capa superior de la capa a ser ensayada.
- 6.3.4** Una vez que la capa a ser ensayada ha sido alcanzada, se toma una lectura de referencia con el punto cero en la parte superior de dicha capa y se registran los espesores de las capas que han sido tomadas mediante núcleos. Esta lectura de referencia es el punto a partir del cual se mide la penetración subsecuente.

#### **6.4** *Secuencia de ensayo:*

- 6.4.1** *Caída del martillo* – El dispositivo PDC es sostenido en una posición vertical o a plomo. El operador levanta el martillo hasta que hace ligero contacto con la manija, pero sin golpearla. Entonces, se permite la caída libre del martillo, el cual impacta el yunque de ensamble. El número de golpes y las correspondientes penetraciones se van registrando como se describe en el numeral 6.5.

- 6.4.2** *Profundidad de penetración* – La profundidad de penetración variará de acuerdo con la aplicación que se va a dar a los resultados del ensayo. Para aplicaciones viales típicas, se considera adecuada una penetración inferior a 900 mm (35").
- 6.4.3** *Rechazo* – La presencia de partículas de gran tamaño o de un estrato rocoso puede conducir a la suspensión de la penetración o a doblar la varilla del aparato. Si luego de 5 golpes el aparato no ha avanzado más de 2 mm (0.08") o la manija se ha deflectado más de 75 mm (3") de su posición vertical, el ensayo se debe detener y el equipo se debe remover hacia otro punto de ensayo. La localización del nuevo punto de ensayo debe ser, por lo menos, a 300 mm (12") de la localización anterior, para minimizar el error causado por la perturbación del material.
- 6.4.4** *Extracción* – Una vez completado el ensayo, el penetrómetro debe ser extraído, utilizando el gato de extracción cuando se utilice un cono de tipo reutilizable. Cuando se utilice un cono de tipo desechable, el dispositivo se extrae dirigiendo el martillo hacia arriba y golpeándolo contra la manija.
- 6.5** *Registro de la información:*
- 6.5.1** Se sugiere el empleo de un formato como el de la Tabla 172 - 1 para el registro de los datos. El operador debe escribir la información del encabezado antes de realizar el ensayo. Los datos reales del ensayo se registran en la columna 1 (número de golpes) y en la columna 2 (penetración acumulada en mm); si se conoce el contenido de humedad, se deberá escribir en la columna 8. Cuando se ha ensayado una capa superficial a través de un orificio obtenido mediante taladrado, la primera lectura corresponde a la lectura de referencia en la parte superior de la capa a ser ensayada, como lo dice el numeral 6.3.4.
- 6.5.2** El número de golpes entre lecturas puede variar, dependiendo de la resistencia del material. Normalmente, se toman lecturas luego de un número fijo de golpes, por ejemplo, un golpe para suelos blandos, 5 golpes para materiales "normales" y 10 golpes para materiales muy resistentes. Se debe registrar la penetración aproximada al milímetro más cercano (0.04") para un número específico de golpes. Se debe tomar una lectura inmediatamente se detecte un cambio significativo

en las propiedades de los materiales o en la rata de penetración de la varilla.

## 7 CÁLCULOS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

- 7.1** EL CBR estimado in-situ se calcula utilizando el índice PDC (columna 6 de la Tabla 172 - 1) y una tabla como la Tabla 172 - 1, para cada juego de lecturas. La penetración por golpe puede ser dibujada, relacionándola con la profundidad (Figura 172 - 6). La penetración por golpe se emplea para estimar el CBR in-situ o la resistencia al corte, utilizando alguna correlación apropiada. Por ejemplo, en la Tabla 172 - 2 se incluyen las correlaciones obtenidas por diferentes autores y organismos reconocidos en diversas partes del mundo. La elección de una correlación apropiada es materia del buen juicio profesional. En razón de ello, el Instituto Nacional de Vías acepta cualquier fórmula determinada a partir de experiencias regionales, siempre que se encuentre debidamente sustentada y que su obtención haya sido confiable.

Tabla 172 - 2. Correlaciones entre el índice PDC (mm/golpe) y el CBR

AUTOR	CORRELACIÓN <sup>A</sup>	OBSERVACIONES
Kleyn y Van Heerden	$CBR = 428.5(PDC)^{-1.28}$	
TRL Overseas Road Note 8	$CBR = 302(PDC)^{-1.057}$	
Cuerpo de Ingenieros (USA)	$CBR = 292(PDC)^{-1.12}$	No aplica a suelos CL con CBR < 10, ni a suelos CH
	$CBR = 58.8(PDC)^{-2.0}$	Aplica a suelos CL con CBR < 10
	$CBR = 348.3(PDC)^{-1.0}$	Aplica a suelos CH
MOPT Colombia (1992)	$CBR = 567.0(PDC)^{-1.40}$	

<sup>A</sup> En las correlaciones, el término PDC significa "índice PDC"

- 7.2** Si existen diferentes capas en el material ensayado, se observa un cambio en la pendiente de la gráfica que relaciona el número de golpes con la penetración acumulada (Figura 172 - 6). La interfaz exacta es difícil de definir porque, en general, siempre existe una zona de transición entre capas. El espesor de la capa puede ser definido por la intersección de las líneas que

representan las pendientes promedios de capas adyacentes. Una vez que los espesores de capas han sido definidos, se calcula la tasa de penetración promedio por capa.

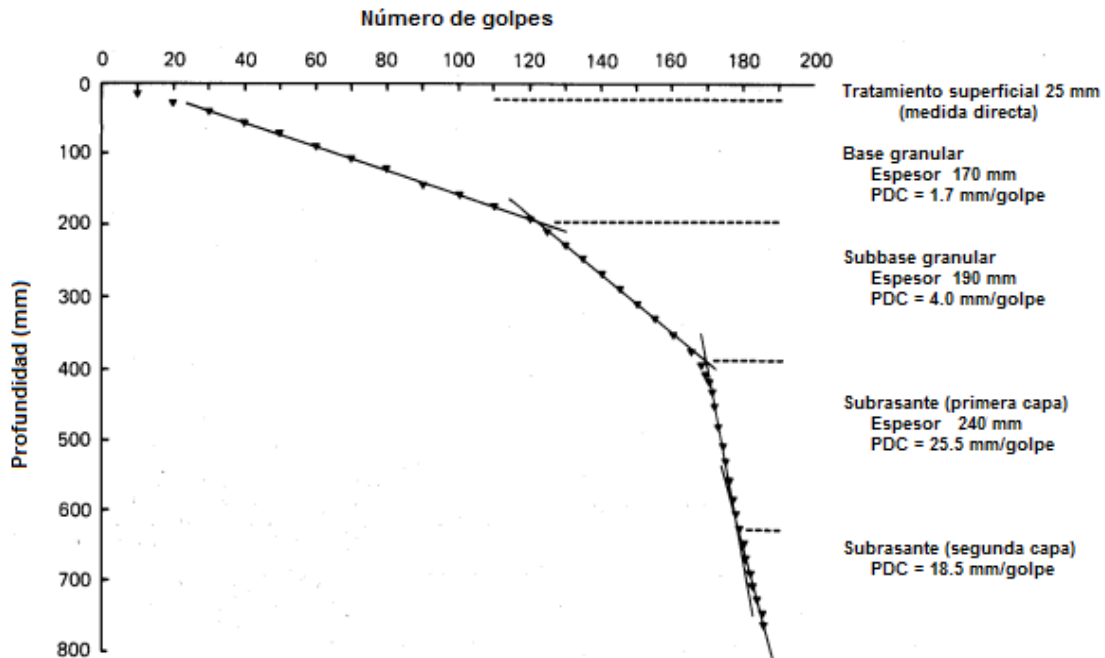


Figura 172 - 6. Resultado de un ensayo de penetrómetro dinámico de cono

## 8 INFORME

- 8.1 El informe deberá incluir toda la información que se muestra en la Tabla 172 - 1. También debe ser incluida en el informe, la relación utilizada para estimar el CBR in-situ.

## 9 PRECISIÓN Y SESGO

- 9.1 *Precisión* – Se ha determinado que la desviación estándar de la repetibilidad en el campo y en el laboratorio es menor de 2 mm por golpe (0.08"/golpe). No es posible determinar los límites de reproducibilidad para este ensayo de campo, dado que el ensayo es destructivo por naturaleza y las muestras no son homogéneas y, por lo tanto, no se pueden replicar en el laboratorio ni en humedad ni en densidad.

*Nota 6: El estudio de repetibilidad es aplicable a materiales granulares y debería corresponder, aproximadamente, a un 20 % o menos si se expresa como porcentaje.*



**9.2** *Sesgo* – A la fecha no existen informes sobre sesgo para este método de ensayo.

## **10 NORMAS DE REFERENCIA**

---

ASTM D 6951/6951M – 09

**Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente**

# CLASIFICACIÓN DE SUELOS Y DE MEZCLAS DE SUELOS Y AGREGADOS CON FINES DE CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS (SISTEMA AASHTO)

INV E – 180 – 13

## 1 OBJETO

---

- 1.1** Esta norma describe un procedimiento para clasificar los suelos en siete grupos básicos y algunos subgrupos, a partir de la determinación en el laboratorio de su granulometría, su límite líquido y su índice plástico. El sistema incluye, además, la determinación de un valor llamado índice de grupo, el cual establece diferencias entre los suelos de cada grupo.
- 1.2** La clasificación es útil para determinar la calidad relativa del material para uso en la construcción de subrasantes, terraplenes y otros rellenos; sin embargo, el diseño detallado de las diversas estructuras viales exige datos adicionales sobre la resistencia o las características de comportamiento del suelo bajo las condiciones de servicio previstas.

## 2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS SUELOS

---

- 2.1** El sistema acostumbra utilizar los siguientes términos para describir de manera general los suelos y agregados de uso vial:
- 2.1.1** *Cantos rodados y fragmentos de roca* – Material retenido en el tamiz de 75 mm (3"), el cual debe ser excluido de la muestra que se va a clasificar, aunque su proporción debe ser registrada.
- 2.1.2** *Grava* – Material que pasa el tamiz de 75 mm (3") y es retenido en el tamiz de 2 mm (No. 10).
- 2.1.3** *Arena gruesa* – Material que pasa el tamiz de 2 mm (No. 10) y es retenido en el tamiz de 425  $\mu$ m (No. 40).
- 2.1.4** *Arena fina* – Material que pasa el tamiz de 425  $\mu$ m (No. 40) y es retenido en el tamiz de 75  $\mu$ m (No. 200).

- 2.1.5** *Limo y arcilla combinados* – Material que pasa el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200). El término “limoso” se aplica al material fino cuyo índice plástico sea 10 o menos y el término “arcilloso” al material con índice plástico mayor de 10.

### 3 DESCRIPCIÓN DE LOS GRUPOS Y SUBGRUPOS DE CLASIFICACIÓN

---

- 3.1** De acuerdo con el sistema AASHTO, los suelos se dividen en dos grupos mayores, como se muestra en la Tabla 180 - 1. Ellos son los granulares, con 35 % o menos de pasante por el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200) y los limo-arcillosos, que contienen más de 35 % pasando por dicho tamiz.

**3.2** *Materiales granulares:*

- 3.2.1** *Grupo A-1* – El material típico de este grupo es una mezcla bien gradada de fragmentos de piedra o grava, arena gruesa, arena fina y un ligante no plástico o débilmente plástico. Sin embargo en este grupo quedan también incluidos materiales granulares sin material fino ligante.

**3.2.1.1** El *Subgrupo A-1-a* comprende materiales que consisten predominantemente de fragmentos de piedra o grava con o sin material fino ligante.

**3.2.1.2** El *Subgrupo A-1-b* incluye materiales que consisten esencialmente de arena gruesa, con o sin material ligante.

- 3.2.2** *Grupo A-3* – Comprende principalmente arenas carentes de fracción gruesa y de fino ligante. Los materiales característicos de este grupo son las arenas finas de playa o de desierto, sin finos limosos o arcillosos, o con una pequeña cantidad de limo no plástico. Incluye, también, mezclas de arena fina pobremente gradada, depositadas en lechos de ríos con cantidades limitadas de grava y arena gruesa. Estos suelos son muy susceptibles a la erosión, siendo conocida su propensión al bombeo bajo pavimentos rígidos.

- 3.2.3** *Grupo A-2* – Este grupo incluye una gran variedad de materiales “granulares” que se encuentran en el intermedio entre los granulares de los grupos A-1 y A-3 y los limo-arcillosos de los grupos A-4 a A-7. Comprende, pues, todos los materiales en los cuales 35 % o menos pasa el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200) y que no pueden ser clasificados

como A-1 y A-3, debido a que el contenido de finos y su plasticidad exceden los límites de tales grupos.

- 3.2.4** Los *Subgrupos A-2-4 y A-2-5* incluyen varios materiales granulares conteniendo 35 % o menos de pasante por el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200), cuya porción que pasa el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40) tiene las características de los materiales que clasifican en los grupos A-4 y A-5. Estos subgrupos comprenden materiales tales como grava y arena gruesa con contenidos de limo o índices plásticos que exceden los límites admitidos en el grupo A-1 y arena fina con un contenido de limo no plástico que sobrepasa los límites del grupo A-3.
- 3.2.5** Los *Subgrupos A-2-6 y A-2-7* se refieren a materiales similares a los descritos en los subgrupos A-2-4 y A-2-5, con excepción de la fracción fina, la cual contiene arcilla plástica de las mismas características de los grupos A-6 o A-7.
- 3.2.6** Los suelos A-2 tienen una clasificación inferior a la de los A-1, debido a la menor calidad de su ligante, su pobre gradación o una combinación de ambas. Dependiendo del carácter y la cantidad de material ligante, los suelos A-2 pueden volverse blandos durante la temporada lluviosa, y sueltos y polvorientos en tiempo seco, cuando se usan como superficie de rodamiento. Sin embargo; si son adecuadamente protegidos de estas condiciones extremas, su comportamiento puede ser relativamente estable.

### **3.3 *Materiales limosos y arcillosos:***

- 3.3.1** *Grupo A-4* – El material típico de este grupo es un suelo limoso no plástico o moderadamente plástico, en el que generalmente el 75 % o más pasa el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200). El grupo incluye, también, mezclas de limo fino con grava y arena, en las cuales hasta el 64 % queda retenido en el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200). Estos suelos son muy comunes y su textura varía desde el loam arenoso hasta el loam limoso y arcilloso. Con una humedad apropiada, presentan un aceptable comportamiento como subrasantes; sin embargo, frecuentemente presentan afinidad por el agua y sufren expansión perdiendo la mayor parte de su estabilidad, a menos que se encuentren apropiadamente compactados y drenados.
- 3.3.2** *Grupo A-5* – El material característico de este grupo es similar al descrito en el grupo A-4, excepto que su carácter es usualmente diatomáceo o micáceo, pudiendo ser altamente elástico, como lo dan a

entender los elevados valores de su límite líquido. Estos suelos no son tan frecuentes como los A-4 y presentan un comportamiento resiliente tanto en condición húmeda como semi-seca. Además, son propensos a la erosión y a la inestabilidad cuando no están adecuadamente drenados. Asimismo, requieren un cuidadoso control de la humedad para lograr una adecuada compactación.

- 3.3.3** *Grupo A-6* – El material típico de este grupo es un suelo arcilloso plástico con un 75 % o más pasando el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200). El grupo comprende, también, mezclas de suelo arcilloso fino hasta con 64 % de arena y grava retenidas en el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200). Los materiales de este grupo suelen presentar importantes cambios volumétricos entre los estados húmedo y seco. Su existencia es muy común y son ampliamente utilizados en la construcción de rellenos. Cuando su humedad es adecuadamente controlada, son fáciles de compactar con rodillos neumáticos o pata de cabra. Los suelos de este grupo presentan una resistencia relativamente alta cuando se encuentran en estado seco, pero pierden mucho de ella al absorber agua. La presión capilar del agua que se ejerce por el secado es de tal intensidad, que acerca las partículas del suelo formando una masa compacta y densa. Este proceso se pone en evidencia por la formación de grietas de contracción en épocas de sequía.
- 3.3.4** *Grupo A-7* – Los materiales típicos y los problemas asociados con este grupo son similares a los descritos en el grupo A-6, excepto que tienen los elevados límites líquidos característicos del grupo A-5 y que pueden presentar comportamiento elástico y estar sujetos a importantes cambios volumétricos.
- 3.3.4.1** El *Subgrupo A-7-5* comprende materiales con índices plásticos moderados en relación con el límite líquido. Estos suelos pueden ser altamente elásticos y son propensos a cambios de volumen considerables.
- 3.3.4.2** El *Subgrupo A-7-6* incluye aquellos materiales finos con índices plásticos altos en relación con el límite líquido, los cuales están sujetos a cambios de volumen extremadamente altos.
- 3.3.5** Los suelos altamente orgánicos, como la turba, no se consideran en este sistema de clasificación. Debido a que la mayoría de sus propiedades son indeseables, en lo posible su uso debe ser evitado en cualquier tipo de construcción.

Tabla 180 - 1. Clasificación de suelos por el sistema AASHTO

CLASIFICACIÓN GENERAL	SUELOS GRANULARES Pasa tamiz de 75 µm (N° 200) hasta el 35%					SUELOS ARCILLOSO-LIMOSO Pasa tamiz de 75 µm (N° 200) más del 35%					
	A - 1		A - 3	A - 2			A - 4	A - 5	A - 6	A - 7	
CLASIFICACIÓN POR GRUPOS	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7		A-7-5	A-7-6	
Ensayo de tamizado por vía húmeda Porcentaje que pasa por:											
Tamiz de 2 mm. N° 10	Máx 50										
Tamiz de 425 µm N° 40	Máx 30	Máx 50	Mín 51								
Tamiz de 75 µm N° 200	Máx 15	Máx 25	Máx 10	Máx 35	Máx 35	Máx 35	Máx 35	Mín 36	Mín 36	Mín 36	
Características de la fracción que pasa por tamiz de 425 µm N° 40											
Límite Líquido	-	-	-	Máx 40	Mín 41	Máx 40	Mín 41	Máx 40	Mín 41	Mín 41	
Índice de Plasticidad	Máximo 6		No plástico	Máx 10	Máx 10	Mín 11	Mín 11	Máx 10	Mín 11	Mín 11	
CONSTITUYENTES PRINCIPALES DE TIPOS MAS COMUNES	Fragmentos de rocas, grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas arcillosas limosas			Suelos limosos		Suelos arcillosos		
COMPORTAMIENTO GENERAL COMO SUBRASANTE	Excelente a bueno			Regular a pobre							

El Índice Plástico del Sub-Grupo A - 7 - 5 es igual o menor que LL - 30, el Índice Plástico del Sub-Grupo A - 7 - 6 es mayor que LL - 30.

## 4 PROCEDIMIENTO PARA LA CLASIFICACIÓN

- 4.1 Se determina la granulometría del suelo por clasificar, de acuerdo con la norma INV E-123.
- 4.2 Se determinan el límite líquido y el índice plástico, según las normas de ensayo INV E-125 e INV E-126.
- 4.3 Se ingresa a la Tabla 180 - 1, procediendo de izquierda a derecha, hasta encontrar el primer grupo al cual se ajustan los resultados de los ensayos descritos en los numerales 4.1 y 4.2 de esta norma, grupo que constituirá la clasificación del suelo. Si dentro del grupo hay subgrupos, se hará la selección correspondiente. Como se muestra en la tabla, todos los valores límites de ensayo se encuentran como números enteros; por lo tanto, si aparecen números fraccionarios en los informes de ensayo, ellos deberán ser convertidos a número entero más próximo para los fines de la clasificación.

*Nota 1: La Figura 180 - 1 ayuda a diferenciar los grupos, a partir de los valores de límite líquido e índice plástico*

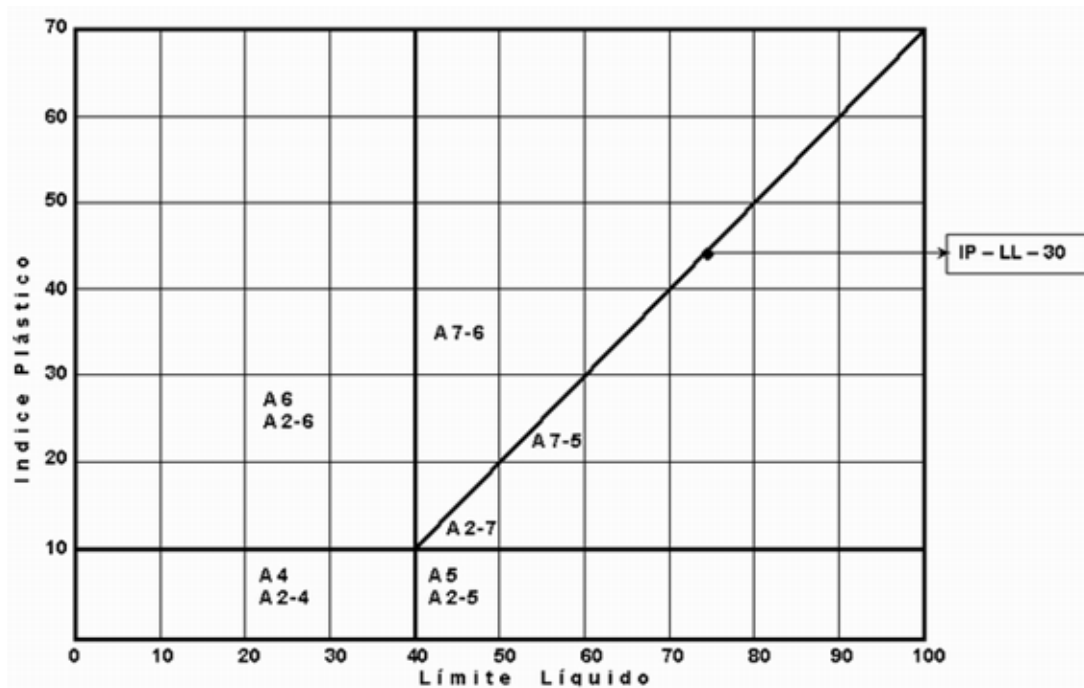


Figura 180 - 1. Diagrama para diferenciar los grupos



## 5 EL ÍNDICE DE GRUPO

---

- 5.1** El índice de grupo es un parámetro numérico ideado para evaluar cuantitativamente los materiales granulares con arcilla y los materiales limo arcillosos, el cual se basa en las siguientes consideraciones:
- 5.1.1** Los materiales A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5 y A-3 son satisfactorios como subrasantes, cuando están adecuadamente drenados y compactados debajo de espesores moderados de pavimento (base y/o capa superficial), compatibles con el tránsito que soportarán, o cuando han sido mejorados mediante la adición de pequeñas cantidades de un ligante natural o artificial.
  - 5.1.2** Los materiales granulares con arcilla de los grupos A-2-6 y A-2-7 y los limo-arcillosos de los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7 varían en su comportamiento como material de subrasante desde el equivalente a los suelos buenos A-2-4 y A-2-5, hasta el regular y pobre, requiriendo una capa de material de sub-base o un espesor mayor de la capa de base para soportar adecuadamente las cargas del tránsito.
  - 5.1.3** El porcentaje mínimo crítico que pasa por el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200) es de 35 sin tener en cuenta la plasticidad, y 15 cuando los índices plásticos son mayores que 10.
  - 5.1.4** Se consideran críticos los límites líquidos de 40 o mayores.
  - 5.1.5** Para suelos no plásticos o cuando el límite líquido no puede ser determinado, se considerará que el índice de grupo es cero (0).
  - 5.1.6** No hay límite superior para el índice de grupo obtenido con la fórmula. Los valores críticos del pasante por el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200), del límite líquido y del índice de plasticidad se basan en una evaluación realizada sobre el comportamiento de subrasantes y capas de base y sub-base, por parte de organizaciones internacionales que practican estos ensayos.
  - 5.1.7** Bajo condiciones promedio de drenaje y compactación adecuadas, el valor soporte de una subrasante puede ser considerado inversamente proporcional al valor de su índice de grupo. Un índice de grupo igual a cero (0) indica un material de buen comportamiento como subrasante, mientras que otro de veinte (20) o más refleja un material de muy pobre comportamiento.

**5.1.8** Se acostumbra escribir el índice de grupo entre paréntesis, al lado derecho del grupo que clasifica el suelo.

**5.2** El índice de grupo se puede determinar mediante la fórmula incluida en la numeral 5.2.1 o con la representación gráfica de la misma, incluida en el numeral 5.2.2.

**5.2.1** El índice de grupo se calcula con la siguiente fórmula:

$$IG = (F - 35) [0.2 + 0.005 (LL - 40)] + 0.01 (F - 15) (I - 10) \quad [180.1]$$

Donde: F: Porcentaje de material que pasa por el tamiz de 75  $\mu$ m (No. 200), expresado como un número entero. Este valor se expresa en función del material que pasa por el tamiz de 75 mm. (3");

LL: Límite líquido;

IP: Índice plástico.

*Nota 2: Cuando el valor calculado resulta negativo, el índice de grupo será registrado como cero (0)*

*Nota 3: Se tomará el número entero más cercano al valor obtenido al realizar el cálculo*

*Nota 4: Al calcular el índice de grupo de los subgrupos A-2-6 y A-2-7, sólo interviene el valor obtenido a través del índice plástico.*

**5.2.2** De modo alternativo, el índice de grupo del suelo se puede determinar con ayuda de la Figura 180 - 2.

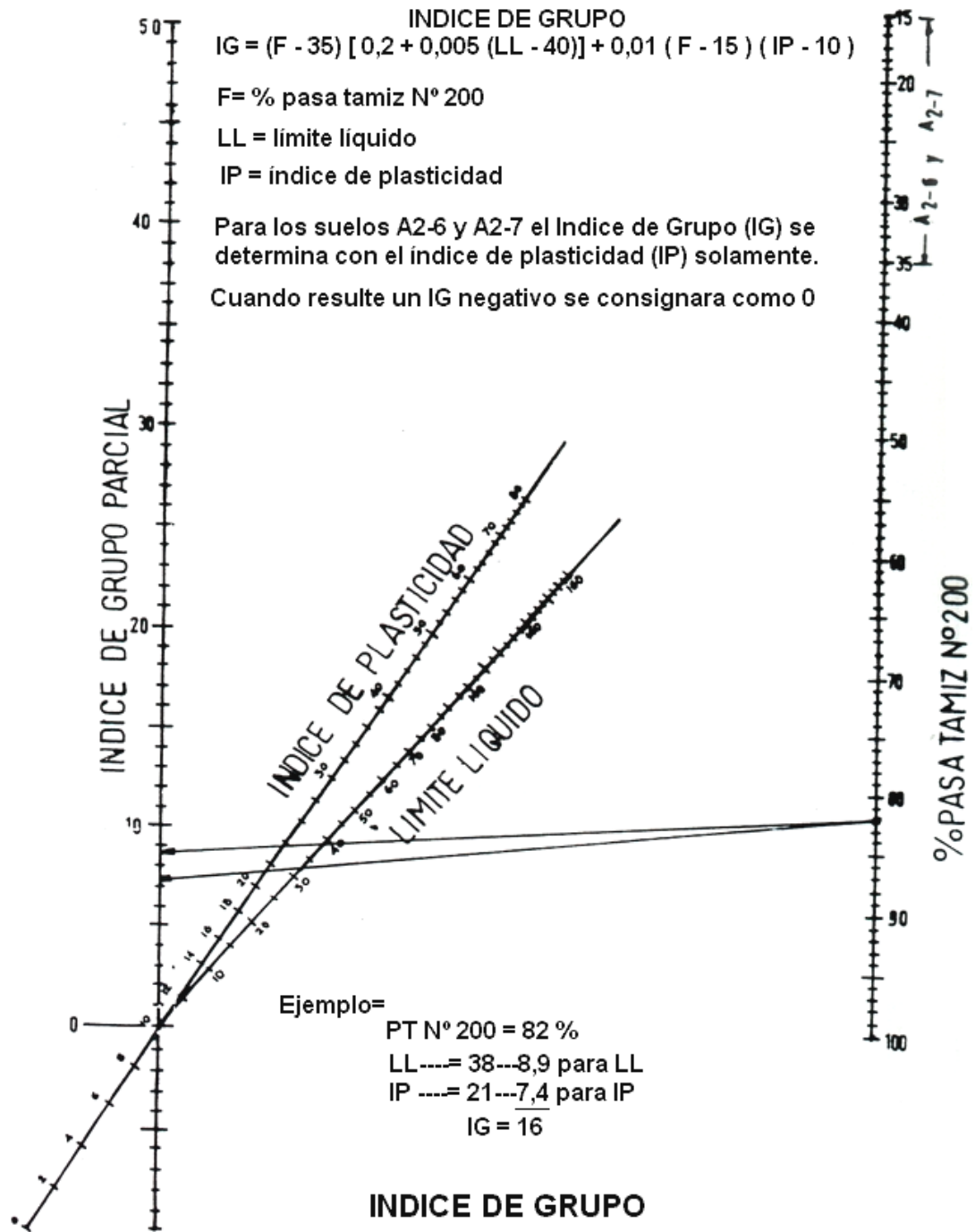


Figura 180 - 2. Ábaco para determinar el índice de grupo

## 6 NORMAS DE REFERENCIA

---

AASHTO M-145-91 (2008)

VN-E-4-84

### ANEXO A (Informativo)

#### EJEMPLO DE CLASIFICACIÓN

---

**A.1** Clasificar por el sistema AASHTO y calcular el índice de grupo de un suelo que presenta las siguientes características:

- Pasa tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200) = 55 %
- Límite Líquido = 40 %
- Índice plástico = 25 %

**A.2** Como el porcentaje que pasa el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200) es mayor de 35 %, el suelo es limo- arcilloso y su clasificación se busca en la Tabla 180 - 1 a partir del grupo A-4, encontrándose que, por sus valores de límite líquido e índice plástico, encaja en el grupo A-6.

**A.3** El índice de grupo se calcula con la fórmula incluida en el numeral 5.2.1:

$$IG = (55 - 35) [0.2 + 0.005 (40 - 40) ] + 0.01 (55 - 15) (25 - 10) = 4.0 + 6.0 = 10$$

# SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS PARA PROPÓSITOS DE INGENIERÍA

INV E – 181 – 13

## 1 OBJETO

---

- 1.1** Esta norma describe el método denominado “Sistema Unificado de Clasificación de Suelos” (SUCS), mediante el cual se clasifican los suelos con base en la determinación en el laboratorio de la distribución de los tamaños de sus partículas, de su límite líquido y de su índice de plasticidad.
- 1.2** A partir de la observación visual y de las pruebas pertinentes de laboratorio, el sistema identifica tres grupos principales de suelos: granulares, finos y orgánicos, a los cuales asigna símbolos en función de sus características específicas.

## 2 DEFINICIONES

---

- 2.1** El sistema utiliza los siguientes términos y definiciones para describir los suelos y agregados para propósitos de ingeniería:

- 2.1.1** *Cantos rodados y fragmentos de roca* – Material retenido en el tamiz de abertura de 75 mm (3"), el cual debe ser excluido de la muestra que se va a clasificar, aunque su proporción debe ser registrada.

*Nota 1: Generalmente, se consideran como “cantos rodados” las partículas de roca que no pasan por una abertura cuadrada de 300 mm (12”), y “fragmentos de roca” o “guijarros” las partículas que pasan por una abertura cuadrada de 300 mm (12”) y quedan retenidas en el tamiz de 75 mm (3”).*

- 2.1.2** *Grava*: material resultante de la desintegración natural y de la abrasión de una roca, cuyas partículas pasan el tamiz de 75 mm (3") y son retenidas en el tamiz de 4.75 mm (No. 4).

*Nota 2: La grava se puede subdividir en “grava gruesa”, que es el material que pasa el tamiz de 75 mm (3”) y queda retenido en el tamiz de 19 mm (¾”), y “grava fina”, que pasa el tamiz de 19 mm (¾”) y es retenida por el tamiz de 4.75 mm (No. 4).*

- 2.1.3** *Arena* – Material que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4) y es retenido en el tamiz de 75 µm (No. 200).

*Nota 3: La arena se puede subdividir en "arena gruesa", que es el material que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4) y queda retenido en el tamiz de 2.00 mm (No. 10); "arena media", que es el material comprendido entre los tamices de 2.00 mm (No. 10) y de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40), y "arena fina", que pasa el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40) y queda retenida en el de 75 $\mu\text{m}$  (No. 200).*

- 2.1.4** *Limo* – Suelo que pasa el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200), de plasticidad baja o nula, el cual exhibe una resistencia limitada en estado seco. A los efectos de la clasificación, el limo es un suelo de grano fino cuyo índice plástico es menor de 4 o que, al ser representado en la carta de plasticidad con su límite líquido y su índice de plasticidad, queda ubicado bajo la línea A.
- 2.1.5** *Limo orgánico* – Suelo que, clasificando como limo en la carta de plasticidad, presenta luego de secado en el horno (preparación de la muestra seca) un límite líquido inferior al 75 % del obtenido antes de ser secado (preparación de la muestra húmeda), debido a la presencia de un contenido de materia orgánica suficiente como para afectar sus propiedades.
- 2.1.6** *Arcilla* – Suelo que pasa el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200), el cual exhibe plasticidad dentro de ciertos rangos de humedad y presenta una elevada resistencia cuando se encuentra seco. A los efectos de la clasificación, la arcilla es un suelo de grano fino cuyo índice plástico es igual o mayor a 4 y que, simultáneamente, al ser representado en la carta de plasticidad con su límite líquido y su índice de plasticidad, queda ubicado en la línea A o por encima de ella.
- 2.1.7** *Arcilla orgánica* – Suelo que clasificando como arcilla en la carta de plasticidad, presenta luego de secado en el horno (preparación de la muestra seca) un límite líquido inferior al 75 % del obtenido antes de ser secado (preparación de la muestra húmeda), debido a la presencia de un contenido de materia orgánica suficiente como para afectar sus propiedades.
- 2.1.8** *Arcilla limosa* – En este sistema de clasificación, se identifica como tal a un suelo que al ser representado en la carta de plasticidad, su posición coincide con la línea A o queda ubicada por encima de ella y, simultáneamente, su índice plástico se encuentra en el rango 4 – 7. Ver el área identificada como CL–ML en la carta de plasticidad.
- 2.1.9** *Turba* – Suelo constituido por un entretejido vegetal en distintos grados de descomposición, con un olor característico a materia

orgánica, generalmente de color marrón oscuro a negro, consistencia esponjosa y una textura variable entre fibrosa y amorfa.

**2.1.10** *Carta de plasticidad* – Gráfica utilizada para diferenciar la fracción fina de los suelos a partir de su límite líquido (LL) y de su índice de plasticidad (IP).

**2.1.11** *Línea A* – Línea recta que aparece en la carta de plasticidad comenzando en las coordenadas LL = 25.5 e IP = 4, cuya ecuación es  $IP = 0.73(LL - 20)$  (Figura 181 - 1).

**2.1.12** *Coefficiente de curvatura ( $C_c$ )* – Relación  $(D_{30})^2 / (D_{60} \times D_{10})$ , donde  $D_{60}$ ,  $D_{30}$  y  $D_{10}$  son los diámetros de partícula correspondientes a los pasantes de 60 %, 30 % y 10 % en la curva granulométrica del suelo (Figura 181 - 2).

*Nota 4: En la práctica común de la ingeniería vial colombiana, el coeficiente de curvatura ( $C_c$ ) recibe el nombre de coeficiente de gradación ( $C_g$ ).*

**2.1.13** *Coefficiente de uniformidad ( $C_u$ )* – Relación  $(D_{60}/D_{10})$ , donde los valores  $D_{60}$  y  $D_{10}$  tienen los mismos significados que en la definición del coeficiente de curvatura.

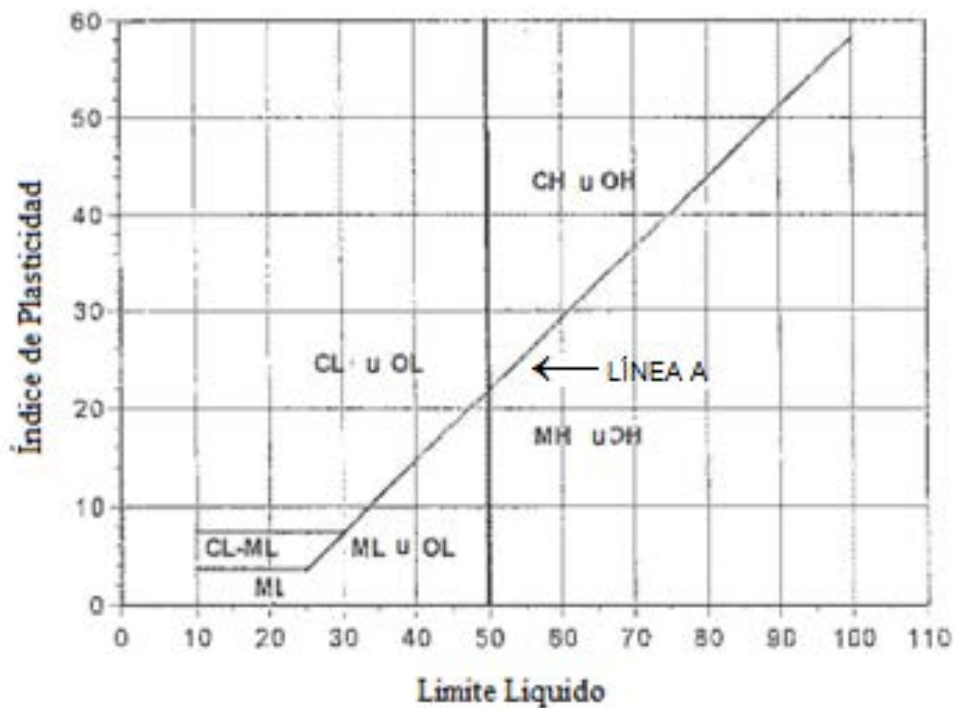
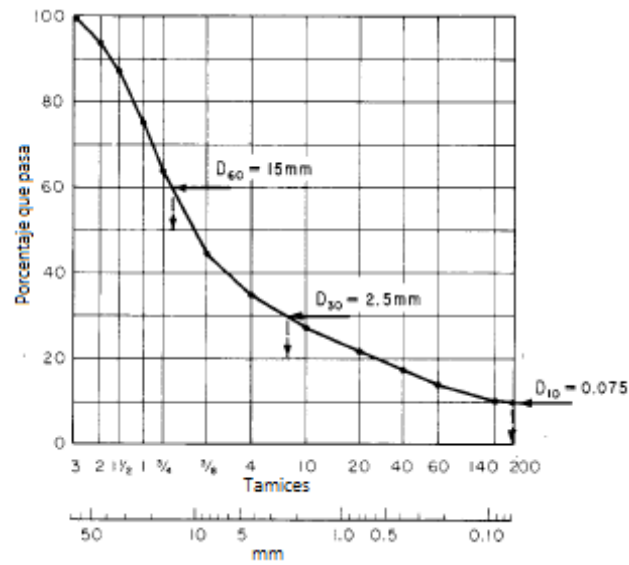


Figura 181 - 1. Carta de plasticidad

Figura 181 - 2. Determinación de los valores D<sub>60</sub>, D<sub>30</sub> y D<sub>10</sub>

### 3 DESCRIPCIÓN DE LOS GRUPOS DE CLASIFICACIÓN

**3.1** El método establece los siguientes criterios para asignar los símbolos y nombres de los grupos a partir de los resultados de las pruebas de laboratorio:

**3.1.1** *Suelos finos* – Son aquellos en los que más de 50 % de su masa seca pasa por el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200). Se dividen en limos y arcillas (Tablas 181 - 1 y 181 - 2).

Tabla 181 - 1. Suelos finos – 50% o más pasa el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200) y límite líquido < 50 %

DESCRIPCIÓN GENERAL	CARACTERÍSTICAS	SÍMBOLO DEL GRUPO	DENOMINACIÓN DEL GRUPO
Inorgánico	IP < 4 o bajo la línea A	ML	Limo de baja compresibilidad
	IP > 7 y, simultáneamente, en la línea A o por encima de ella	CL	Arcilla de baja compresibilidad
	4 ≤ IP ≤ 7 y, simultáneamente, en la línea A o por encima de ella	CL-ML	Arcilla limosa
Orgánico: $\frac{\text{LL luego de secado al horno}}{\text{LL antes de secado}} < 0.75$	IP < 4 o bajo la línea A	OL	Limo orgánico
	IP ≥ 4 y, simultáneamente, en la línea A o por encima de ella	OL	Arcilla orgánica



Tabla 181 - 2. Suelos finos – 50% o más pasa el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200) y límite líquido  $\geq 50\%$ 

DESCRIPCIÓN GENERAL	CARACTERÍSTICAS	SÍMBOLO DEL GRUPO	DENOMINACIÓN DEL GRUPO
Inorgánico	Bajo la línea A	MH	Limo de alta compresibilidad
	En la línea A o por encima de ella	CH	Arcilla de alta compresibilidad
Orgánico: $\frac{\text{LL luego de secado al horno}}{\text{LL antes de secado}} < 0.75$	Bajo la línea A	OH	Limo orgánico
	En la línea A o por encima de ella	OH	Arcilla orgánica

**3.1.2 Suelos gruesos** – Son aquellos en los que más de 50 % de su masa seca tiene un tamaño mayor que la abertura del tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200). Se dividen en gravas (ver Tabla 181 - 3) y arenas (ver Tabla 181 - 4).

Tabla 181 - 3. Gravas – Más del 50% de la fracción mayor al tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200) queda retenida en el tamiz de 4.75 mm (No. 4)

DESCRIPCIÓN GENERAL	CARACTERÍSTICAS	SÍMBOLO DEL GRUPO	DENOMINACIÓN DEL GRUPO
Grava con menos de 5 % de finos	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3$	GW	Grava bien gradada
	$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3$	GP	Grava mal gradada
Grava con 5 % a 12 % de finos limosos	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3$	GW–GM	Grava bien gradada con finos limosos
	$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3$	GP–GM	Grava mal gradada con finos limosos
Grava con 5 % a 12 % de finos arcillosos o arcillo-limosos	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3$	GW–GC	Grava bien gradada con finos arcillosos
	$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3$	GP–GC	Grava mal gradada con finos arcillosos
Grava con más de 12 % de finos	Los finos clasifican como ML o MH	GM	Grava limosa
	Los finos clasifican como CL o CH	GC	Grava arcillosa
	Los finos clasifican como CL–ML	GC–GM	Grava arcillo–limosa

Nota 5: Si los finos son orgánicos, se añadirá la expresión “con finos orgánicos” a la denominación del grupo

Tabla 181 - 4. Arenas – 50% o más de la fracción mayor al tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200) pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4)

DESCRIPCIÓN GENERAL	CARACTERÍSTICAS	SÍMBOLO DEL GRUPO	DENOMINACIÓN DEL GRUPO
Arena con menos de 5 % de finos	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3$	SW	Arena bien gradada
	$C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3$	SP	Arena mal gradada
Arena con 5 % a 12 % de finos limosos	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3$	SW-SM	Arena bien gradada con finos limosos
	$C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3$	SP-SM	Arena mal gradada con finos limosos
Arena con 5 % a 12 % de finos arcillosos o arcillo-limosos	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3$	SW-SC	Arena bien gradada con finos arcillosos
	$C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3$	SP-SC	Arena mal gradada con finos arcillosos
Arena con más de 12 % de finos	Los finos clasifican como ML o MH	SM	Arena limosa
	Los finos clasifican como CL o CH	SC	Arena arcillosa
	Los finos clasifican como CL-ML	SC-SM	Arena arcillo-limosa

*Nota 6: Si los finos son orgánicos, se añadirá la expresión "con finos orgánicos" a la denominación del grupo*

### 3.2 Clasificación de la turba

**3.2.1** Un suelo que presente las características de turba según la definición del numeral 2.1, no se somete al procedimiento que se describe en la Sección 5 sino que, a partir del reconocimiento visual y de la impresión que causen sus efluvios, se clasifica como  $P_t$ .

## 4 SIGNIFICADO Y USO

**4.1** Mediante la aplicación de esta norma se logra una identificación clara de los suelos, utilizando símbolos y nombres genéricos de grupo.

- 4.2 La identificación brindada por este sistema de clasificación, complementada con la información descriptiva que proporciona la norma INV E-102, permite al ingeniero describir los suelos de una manera más completa y lo orienta en las investigaciones de campo y laboratorio destinadas a la evaluación de las propiedades significativas de ellos con fines de ingeniería.

## 5 PROCEDIMIENTO PARA LA CLASIFICACIÓN

---

- 5.1 Ante todo, se verifica si la muestra de suelo por clasificar contiene partículas de tamaño superior a 75 mm (3"). En caso afirmativo, ellas serán excluidas del proceso de clasificación, pero su proporción en masa dentro del total de la muestra seca deberá ser determinada y anotada.

*Nota 7: Al clasificar suelos, las partículas mayores de 75 mm (3") reciben el nombre de "sobretamaños"*

- 5.2 Excluidas las partículas mayores de 75 mm (3"), si corresponde, se deben determinar las siguientes características de la muestra del suelo que se pretende clasificar:

5.2.1 *Granulometría* – Según la norma INV E-123.

5.2.2 *Límite líquido de la fracción menor de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40)* – Según la norma INV E-125.

5.2.3 *Índice de plasticidad de la fracción menor de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40)* – Según la norma INV E-126.

- 5.3 Obtenida la información suministrada por los ensayos citados en el numeral 5.2, se determina si el suelo es fino o grueso, según el porcentaje que pasa el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200) (ver numerales 3.1.1. y 3.1.2).

- 5.4 ***Procedimiento para la clasificación de los suelos finos (50 % o más pasa el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200))***

5.4.1 Si su límite líquido es menor de 50 %, se determina la posición de la fracción fina en la carta de plasticidad a partir de sus valores de LL e IP y, a continuación, se establece su símbolo de clasificación en la Tabla 181 - 1 (ML, CL, CL-ML u OL).

5.4.2 Si su límite líquido es mayor o igual a 50 %, se determina la posición de la fracción fina en la carta de plasticidad a partir de sus valores de LL e

IP y, a continuación, se determina su símbolo de clasificación en la Tabla 181 - 2 (MH, CH u OH).

**5.5 Procedimiento para la clasificación de los suelos gruesos (menos del 50% pasa el tamiz de 75  $\mu$ m (No. 200))**

- 5.5.1** Si el suelo es grueso, se determina en primer término si es grava (más del 50% de la fracción mayor al tamiz de 75  $\mu$ m (No. 200) queda retenida en el tamiz de 4.75 mm (No.4)) o arena (50% o más de la fracción mayor al tamiz de 75  $\mu$ m (No. 200) pasa el tamiz de 4.75 mm (No.4)).
- 5.5.2** Si es grava, y su contenido de finos (material que pasa el tamiz de 75  $\mu$ m (No. 200)) es menor de 5 %, se calculan los valores de  $C_u$  y  $C_c$  a partir de su curva granulométrica y se establece su símbolo de clasificación en la Tabla 181 - 3 (GW o GP).
- 5.5.3** Si es grava y su contenido de finos se encuentra entre 5 % y 12 %, se calculan los valores de  $C_u$  y  $C_c$  a partir de su curva granulométrica y, además, se determina la posición de la fracción fina en la carta de plasticidad a partir de sus valores de LL e IP. A continuación, se obtiene su símbolo de clasificación en la Tabla 181 - 3 (GW–GM, GP–GM, GW–GC o GP–GC).
- 5.5.4** Si es grava y su contenido de finos es mayor de 12 %, se determina la posición de la fracción fina en la carta de plasticidad a partir de sus valores de LL e IP y, a continuación, se determina su símbolo de clasificación en la Tabla 181 - 3 (GM, GC o GC–GM).
- 5.5.5** Si el suelo grueso es arena y su contenido de finos es menor de 5 %, se calculan los valores de  $C_u$  y  $C_c$  a partir de su curva granulométrica y se halla su símbolo de clasificación en la Tabla 181 - 4 (SW o SP).
- 5.5.6** Si es arena y su contenido de finos se encuentra entre 5 % y 12 %, se calculan los valores de  $C_u$  y  $C_c$  a partir de su curva granulométrica y, además, se determina la posición de la fracción fina en la carta de plasticidad a partir de sus valores de LL e IP. A continuación, se establece su símbolo de clasificación en la Tabla 181 - 4 (SW–SM, SP–SM, SW–SC o SP–SC).
- 5.5.7** Si es arena y su contenido de finos es mayor de 12 %, se determina la posición de la fracción fina en la carta de plasticidad a partir de sus

valores de LL e IP y, a continuación, se determina su símbolo de clasificación en la Tabla 181 - 4 (SM, SC o SC-SM).

## **6 NORMAS DE REFERENCIA**

---

TXDOT Designation TEX-142-E

ASTM D 2487 - 11

**Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente**

## CLASIFICACIÓN DE LA FRACCIÓN FINA DE UN SUELO A PARTIR DE SU VALOR DE AZUL DE METILENO

INV E – 182 – 13

### 1 OBJETO

- 1.1** Esta norma describe un método para identificar las características de la fracción que pasa el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200) de un suelo, a partir de su valor de azul y del contenido de partículas de tamaño inferior a 2  $\mu\text{m}$ .
- 1.2** El método fue propuesto por Jean Pierre Magnan y Ghassem Youssefain, con el fin de resolver inconsistencias encontradas al clasificar por el sistema unificado algunos suelos finos ubicados en cercanías de la línea A de la carta de plasticidad.
- 1.3** El método no aplica ni a suelos orgánicos ni a suelos carbonatados.

### 2 DEFINICIONES

- 2.1** Las siguientes son las definiciones aplicables a esta norma:
- 2.1.1** *Carta de clasificación* – Representación gráfica de los distintos grupos de la fracción fina de los suelos en función de su valor de azul (VA) y de su contenido de partículas menores de 2  $\mu\text{m}$  ( $C_2$ ) (Figura 182 - 1).
- 2.1.2** *Fracción fina de un suelo* – Aquella que pasa por el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200).
- 2.1.3** *Símbolos de clasificación* – Los 6 símbolos que aparecen en la carta de clasificación tienen el siguiente significado:

SÍMBOLO	SIGNIFICADO
$L_{pa}$	limos poco activos
$L_{ma}$	limos medianamente activos
$L_{ta}$	limos muy activos
$A_{pa}$	arcillas poco activas
$A_{ma}$	arcillas medianamente activas
$A_{ta}$	arcillas muy activas

**2.1.4** *Valor de azul (VA)* – Cantidad de azul de metileno (en gramos) requerida para cubrir con una capa monomolecular las superficies externas e internas de todas las partículas arcillosas presentes en 1 kg de suelo.

## 2.2 Líneas que dividen las zonas de la carta de clasificación

**2.2.1** Las líneas M, IK, L, A y MT de la carta de clasificación se definen de la siguiente manera:

**2.2.1.1** La línea M, de ecuación  $VA = 3.1C_2$ , corresponde a la montmorilonita pura. Esta línea limita el área donde se encuentran prácticamente todos los suelos finos naturales. En la eventualidad de que algún suelo presente un valor superior al obtenido al aplicar la ecuación, éste se clasificará colocándolo sobre la línea M según su valor de  $C_2$ .

**2.2.1.2** La línea IK, de ecuación  $VA = 0.23C_2$ , separa los suelos finos poco activos de los medianamente activos.

**2.2.1.3** La línea L, de ecuación  $C_2 = 50$ , va desde el eje de ordenadas hasta la línea K y separa los limos poco activos de las arcillas poco activas.

**2.2.1.4** La línea A, de ecuación  $C_2 = 52.3 - 0.2VA$ , separa las arcillas de actividad media y alta de los limos mediana y altamente activos. Esta línea es un segmento que une la intersección de las líneas IK y L con el punto ( $VA = 100, C_2 = 32.3$ ) de la línea M.

**2.2.1.5** La línea MT, de ecuación  $VA = C_2$ , distingue los suelos medianamente activos de los muy activos.

## 3 IMPORTANCIA Y USO

---

**3.1** La utilización del valor de azul en la identificación de la fracción fina de los suelos, junto con algunas características de su granulometría, permite clasificarla distinguiéndola en función de la actividad de su fracción arcillosa, la cual ejerce una influencia importante sobre las propiedades mecánicas de los suelos.



## 4 PROCEDIMIENTO PARA LA CLASIFICACIÓN

- 4.1 Sobre una porción de una muestra de suelo que pasa el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200) se determina el porcentaje, en masa, de partículas de tamaño menor a 2  $\mu\text{m}$  ( $C_2$ ), de acuerdo con el procedimiento descrito en la norma INV E-123.
- 4.2 Sobre otra porción de la misma muestra, se determina el valor de azul (VA), mediante el procedimiento indicado en el Anexo A de la norma INV E-235.
- 4.3 Con los valores  $C_2$  y VA se ingresa a la figura 1 y se establecen el grupo al cual corresponde el suelo fino y la descripción del mismo, según las definiciones del numeral 2.1 de la presente norma.

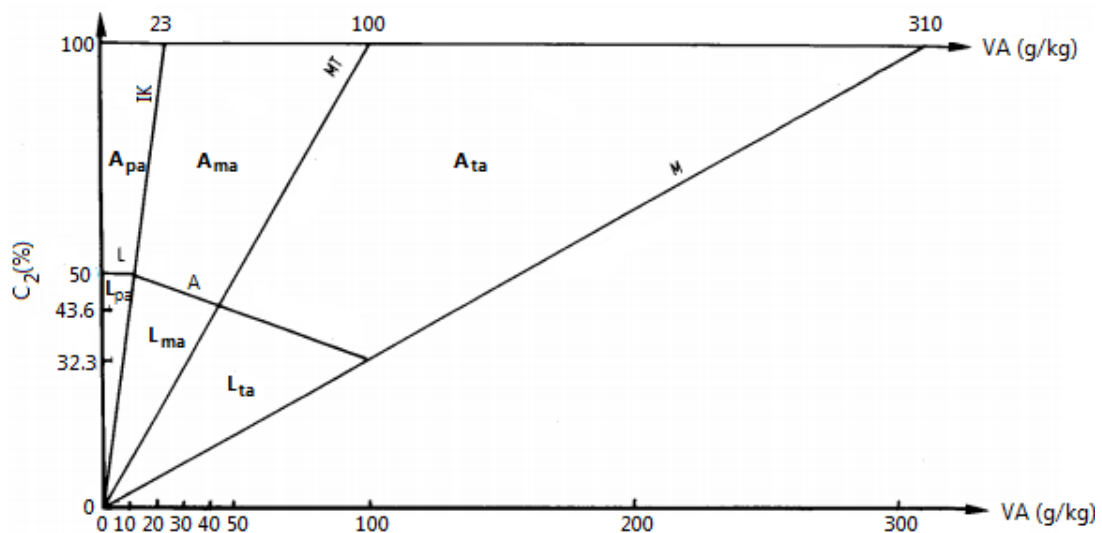


Figura 182 - 1. Carta de clasificación de suelos finos

## 5 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

JEAN PIERRE MAGNAN & GHASSEM YOUSSEFAIN, "Essai au bleu de méthylène et classification géotechnique des sols", Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées 159, páginas 17-28, Paris, janvier-février 1989

**Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente**