

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 %.

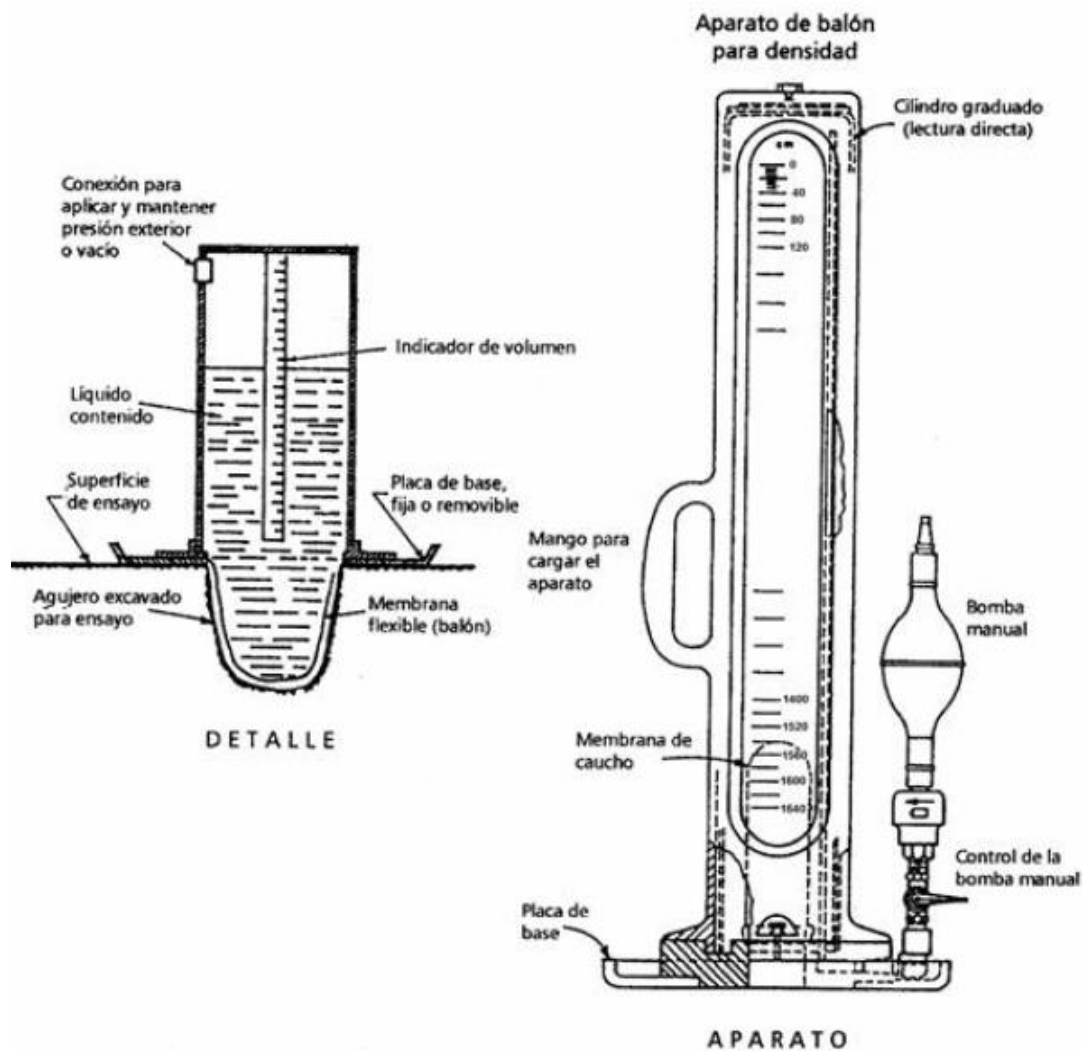


Figura 162 - 1. Balón de caucho para medir la densidad en el terreno

- 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 cm³ (0.1 pies³), 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 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 ³	pies ³
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, ρ_m , del suelo removido del agujero de ensayo, de la siguiente forma:

$$\rho_m = \frac{M_h}{V} \quad [162.1]$$

Donde: ρ_m : Densidad húmeda in-situ del suelo ensayado, g/cm³;

M_h : Masa del suelo húmedo removido del agujero de ensayo, g;

V : Volumen del agujero de ensayo, cm³.

Nota 2: 1 pie³ = 0.02832 m³

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, ρ_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: ρ_d : Densidad seca en el sitio, g/cm³;

ρ_m : Densidad húmeda en el sitio, g/cm³;

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, γ_d , de la siguiente forma:

$$\gamma_d \text{ (kN/m}^3\text{)} = \rho_d \times 9.807 \quad [162.3]$$

$$\gamma_d \text{ (lbf/ft}^3\text{)} = \rho_d \times 62.43 \quad [162.4]$$

Donde: ρ_d : Densidad seca en el sitio, g/cm³.

- 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, cm³.

- 8.1.4** Densidad húmeda en el sitio, g/m^3 .
- 8.1.5** Peso unitario seco en el sitio kN/m^3 o lbf/ft^3 , expresado con aproximación a 0.1 kN/m^3 o 1.0 lbf/ft^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/m³ (1 lb/pie³), 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 cm³ (1/30 pies³) y 2124 cm³ (1/13.33 pies³) 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 dm³ (0.0001 pies³). 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/pg²). 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;

M₂: Masa del molde o recipiente más la placa de vidrio más agua, g;

M₁: Masa del molde o recipiente más la placa de vidrio, g;

V_w: Volumen del agua por unidad de masa, dependiente de la temperatura (Tabla 162A - 1), cm³/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