

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 ensayan, 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 cm³ (0.1 pie³), 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° 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 (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 cm^3 (0.1 pies 3). 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 cm^3 (0.1 pies 3), se

deberá usar el Anexo C de la presente norma o la norma de ensayo INVE-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 μm , (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 período 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, cinceles, 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.

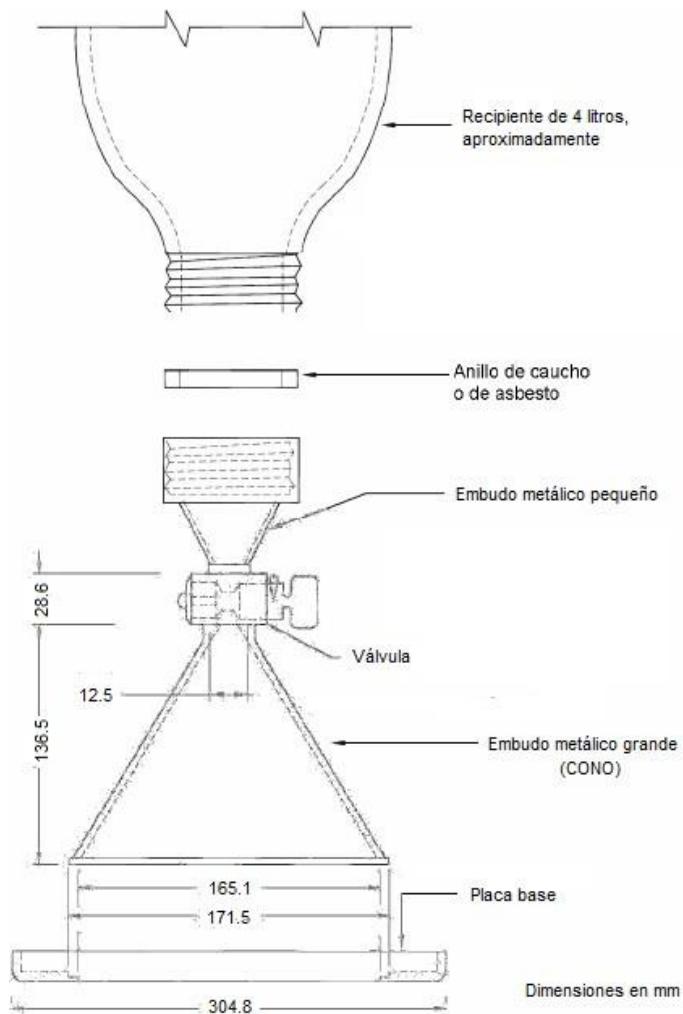


Figura 161 - 1. Aparato para el ensayo del cono y arena

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 ³	pies ³
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.

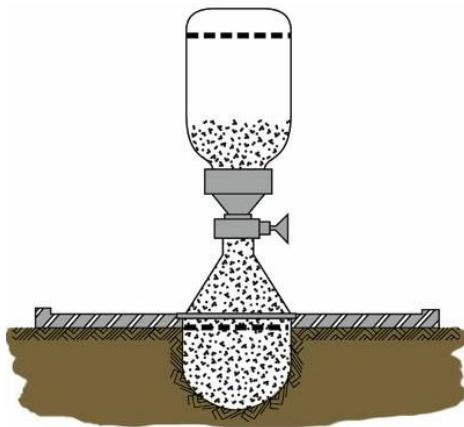


Figura 161 - 4. Llenado del hueco con arena

- 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 usatoda 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, quepermita 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, cm³;

M₁: Masa de la arena que se utilizó para llenar el cono, el cono y la placa de base, g (Ver numeral 5.1.8);

M₂: Masa de la arena que se utilizó para llenar conjunto cono + placa de base (constante del cono), g (Ver Anexo A);

ρ₁: Densidad de la arena, g/cm³ (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 (ρ_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 (ρ_d), de la siguiente forma:

$$\rho_d = \frac{M_4}{V} \quad [161.4]$$

Nota 8: Para expresar las densidades en lb/pie³, los valores obtenidos en g/cm³ se deberán multiplicar por 62.43.

- 6.6** Se calcula el peso unitario seco en el sitio, γ_d , de la siguiente forma:

$$\gamma_d (\text{kN/m}^3) = \rho_d \times 9.807 \quad [161.5]$$

$$\gamma_d (\text{lbf/pie}^3) = \rho_d \times 62.43 \quad [161.6]$$

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

- 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, cm^3 .
- 7.1.3** Densidad húmeda en el terreno (ρ_m), g/cm^3 .
- 7.1.4** Densidad seca en el terreno (ρ_d), g/cm^3 .
- 7.1.5** Peso unitario seco en el sitio kN/m^3 o lbf/pie^3 , expresado con aproximación a 0.1 kN/m^3 o 1.0 lbf/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 (ρ_1), g/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^3 ($1/30$ pies 3) y 2124 cm^3 ($1/13.33$ pies 3) 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: ρ_1 : Densidad de la arena, g/cm³ (multiplicar por 9.807 para kN/m³ o por 62.43 para lbf/pie³);

M_5 : Masa neta de la arena con la que se llena el molde de calibración, g;

V_1 : Volumen del recipiente de calibración, cm³.

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 cm³ (0.1 ft³), 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 m³ (1 a 6 pies³) 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 m³ (0.1 y 1 pie³), 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 gravagruesa