

ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD DE LOS SUELOS EN EL CAMPO POR EL METODO DEL CONO DE ARENA.

MTC E 117 – 2000

Este Modo Operativo está basado en la Norma ASTM D 1556, la misma que se ha adaptado al nivel de implementación y a las condiciones propias de nuestra realidad. Cabe indicar que este Modo Operativo está sujeto a revisión y actualización continua.

Este Modo Operativo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del Usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación.

1. OBJETIVO

1.1. Esta norma de ensayo establece el método de ensayo estándar para determinar la densidad y peso unitario del suelo in situ mediante el método del cono de arena.

2. ALCANCE

2.1 Este método se emplea para la determinación de la densidad de suelos en el lugar (in situ), utilizando un equipo denominado cono de arena.

2.2 Este método de ensayo se aplica a suelos que no contengan una cantidad excesiva de roca o materiales gruesos con un diámetro mayor a 1 ½ pulg. (38 mm).

2.3. Cualquier suelo u otro material, que pueda ser excavado con herramientas de mano, puede ser ensayado siempre que los vacíos o aberturas de los poros en la masa sean lo suficientemente pequeños para prevenir que la arena usada en el ensayo penetre en los vacíos naturales. El suelo u otro material a ensayarse deberá tener la suficiente cohesión o atracción entre partículas para mantener estables los lados de un pequeño hoyo o excavación.

Este deberá ser lo suficientemente firme y consistente para soportar las pequeñas presiones ejercidas al excavar el hoyo y colocar el aparato sobre él, sin que se deforme o se caiga.

2.4. Este método de ensayo no es adecuado para suelos orgánicos, saturados o altamente plásticos que podrían deformarse o comprimirse durante la excavación del hoyo de ensayo. Este método de ensayo puede no ser adecuado para suelos que contengan materiales granulares dispersos que no mantengan los lados estables en el orificio de ensayo; tampoco para suelos que contengan una cantidad considerable de material grueso mayor de 1 ½ pulg. (38 mm), ni para suelos granulares que tengan altos porcentajes de vacíos.

2.5 Cuando los materiales que se van a someter a prueba contengan cantidades considerables de partículas mayores a 1 ½ pulg. (38 mm), o cuando los volúmenes de los orificios de ensayo son mayores a 0.1 pie³ (2830 cm³), se aplica el Método de Ensayo ASTM D4914 o ASTM D5030.

2.6 Es práctica común en la profesión de ingeniería utilizar corrientemente unidades de medida para representar tanto unidades de masa como unidades de fuerza. Esto implícitamente combina dos sistemas de unidades diferentes, esto es, el sistema absoluto y el sistema gravitacional. Científicamente, no es recomendable combinar el uso de dos clases diferentes de unidades dentro de una norma simple. Este método de ensayo ha sido elaborado utilizando el sistema gravitacional de unidades cuando se tratan las unidades en el sistema de centímetros y gramos. En este sistema, el gramo (gf) representa una unidad de fuerza (peso). Sin embargo, el uso de balanzas o escalas para registrar medidas de masa (gm) o para registrar la densidad en gm/cm^3 puede establecerse como conforme a este método de ensayo.

3. TERMINOLOGIA

3.1 Definiciones: Todas las definiciones están de acuerdo a la Terminología de la Norma MTC E116.

4. RESUMEN DEL MÉTODO DE ENSAYO

4.1 Se cava a mano un orificio de prueba en el suelo donde se va a ensayar y todo el material extraído del orificio es recuperado en un contenedor. Se llena el orificio con arena de densidad conocida en caída libre y se determina el volumen. La densidad húmeda del suelo in situ se determina dividiendo la masa húmeda del material removido entre el volumen del orificio. Se determina el contenido de humedad del material del orificio y se calcula la masa seca del material y la densidad seca del lugar, utilizando la masa húmeda del suelo, el contenido de humedad y el volumen del orificio.

5. SIGNIFICADO Y USO

5.1 Este método es muy difundido para determinar la densidad de suelos compactados utilizados en la construcción de terraplenes de tierra, rellenos de carreteras y estructuras de relleno. Es comúnmente utilizado como base de aceptación para suelos compactados a una densidad específica o a un porcentaje de densidad máxima determinada por un método de ensayo normado.

5.2 Este método puede ser usado para determinar la densidad in-situ de depósitos de suelos naturales, agregados, mezcla de suelos u otro material similar.

5.3 El uso de este método está limitado generalmente a suelos en una condición de no saturados. Este método no es recomendable para suelos que sean suaves o desmenuzables (que se desmoronan fácilmente), o estén en una condición de humedad tal que el agua filtre al hoyo excavado. La precisión de este ensayo puede ser afectada por suelos que se deforman fácilmente o que sufran cambios volumétricos en el hoyo excavado debido a que el personal camine o se detenga cerca del hoyo durante el ensayo.

Nota 1.- Cuando se efectúa la prueba en suelos blandos condiciones suaves o en suelos que se acercan a la saturación. Pueden ocurrir cambios de volumen en el orificio excavado, como un resultado de la carga superficial debido al personal que se encuentra realizando la prueba o similares. Muchas veces esto se puede evitar utilizando una plataforma que debe estar apoyada a cierta distancia del orificio. Como no siempre es posible detectar cuando tiene lugar un cambio de volumen, los resultados de la prueba siempre deben compararse con la densidad de saturación teórica o la línea de cero vacíos de aire sobre la curva de densidad seca versus contenido de humedad. Cualquier prueba de densidad in situ en suelos compactados cuya saturación excede el 95% es un indicio de que se ha cometido un error, o que el volumen del orificio ha variado durante la prueba.

6. APARATOS

6.1 El aparato de Densidad, consiste en lo siguiente:

6.1.1 Un frasco desarmable u otro contenedor de arena que tenga una capacidad de volumen que exceda el volumen requerido para llenar el orificio de prueba y el aparato durante la prueba.

6.1.2 Un aparato desarmable que consiste en una válvula cilíndrica con un orificio de $\frac{1}{2}$ " (13 mm) de diámetro, presentando en un extremo un pequeño cono de metal conectado a un frasco en un extremo y a un embudo (cono) en el otro extremo. La válvula debe tener un freno (seguro) para prevenir la rotación de una posición completamente abierta a otra completamente cerrada.

6.1.3. Una placa metálica cuadrada ó rectangular, con un hueco central con borde para recibir el embudo grande (cono) del aparato descrito en 6.1.2. La placa debe ser plana en la base y tener suficiente rigidez, con un espesor de $\frac{3}{8}$ " a $\frac{1}{2}$ " (10 a 13mm).

6.1.4. Los detalles del aparato descrito se muestran en la Fig.1 y representan las dimensiones mínimas aceptables y adecuadas para ensayar suelos que tienen un tamaño máximo de 2" (50mm) y volumen del hueco de ensayo de aproximadamente 0.1 pie³ (2 830cm³). Cuando el material a ensayarse contiene un pequeño porcentaje de partículas extradimensionadas y alargadas, el ensayo puede ser trasladado a una nueva ubicación.

Se necesitan aparatos y volúmenes del hueco de prueba más grandes cuando prevalecen las partículas mayores que 2" (50 mm).

6.2. Arena:

Deberá ser limpia, uniforme, seca, no cementada, durable y que discurra libremente. Tener un coeficiente de uniformidad ($C_u = D_{60}/D_{10}$) menor de 2 y el tamaño máximo de partículas menor que 2.0mm (Malla N° 10) y menos del 3% en peso que pase la malla de 250 μm (Malla N° 60). Debe estar libre de finos y partículas de arena fina para prevenir cambios significativos en la densidad de la masa por cambios diarios en la humedad atmosférica. Son deseable arenas naturales, subredondeadas o redondeadas. Las arenas trituradas, o que tengan partículas angulares no son libres de escurrir, por lo que esta condición puede causar una acción puente y por lo tanto imprecisión en la determinación de la densidad (Nota 2). Para seleccionar la arena de una cantera potencial se debe determinar cinco (5) densidades de masa por separado, las cuales deben ser hechas para cada recipiente o saco de arena. Para ser aceptable la arena, la variación entre cualquier determinación y el promedio no debe ser mayor de 1% del promedio. Antes de usar la arena será secada, luego se deja que tome la humedad del aire del sitio donde va a ser usada. La arena para ser nuevamente usada, deberá estar libre de cualquier suelo contaminante, verificarse su gradación y secarla. Las pruebas de densidad y volumen de la arena deben ser hechas a intervalos no mayores de 14 días, siempre después de cualquier cambio significativo de humedad atmosférica; antes de volver a usar la arena y antes de usar un nuevo material previamente aprobado.

Nota 2.- Algunas arenas manufacturadas (partidas) como arenas producto de explosiones, se han utilizado exitosamente con buena reproducibilidad. La reproducibilidad de los resultados de ensayo que utilizan arena angular deben revisarse bajo situaciones de ensayo controladas en laboratorio antes de seleccionar una arena angulosa para su uso.

Nota 3.- Muchas organizaciones han encontrado beneficioso almacenar arenas en contenedores resistentes a la humedad. La arena debe almacenarse en áreas secas protegidas del clima. El empleo de una bombilla u otra fuente de calor dentro de o adyacente a los contenedores de almacenamiento también se ha encontrado beneficioso en áreas de alta humedad.

Nota 4.- Como regla general, no es recomendable la arena con segundo uso.

Nota 5.- La mayoría de las arenas tiene tendencia a absorber la humedad de la atmósfera. Una muy pequeña cantidad de humedad absorbida puede hacer un cambio sustancial en la densidad y el volumen. En áreas de alta humedad o donde la humedad cambia frecuentemente, la densidad y el volumen pueden necesitar ser determinados en un tiempo mayor a los 14 días de intervalo máximo indicado. La necesidad de revisiones más frecuentes pueden determinarse comparando los resultados de diferentes pruebas de densidad y volumen en la misma arena, hecha en diferentes condiciones de uso por encima de un período de tiempo.

6.3. Balanzas.

Una balanza de capacidad mínima de 20 kg con una sensibilidad de 1.0 g.

6.4 Equipo de Secado.

Controlado termostáticamente, capaz de mantenerse a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$), para determinar el contenido de humedad de la muestra extraída del hoyo.

6.5 Equipo Diverso.

Cuchillo, pico pequeño, cincel, espátula pequeña, destornillador o cucharas para excavar el hoyo del ensayo, cubos con tapa, latas de estaño sin costuras laterales ó de aluminio con tapa, costales plásticos u otro recipiente adecuado para retener la densidad y humedad de la muestra y la densidad de la arena; termómetro para la determinación de la temperatura del agua, brocha pequeña, calculadora, libreta de apuntes, etc.

7. PROCEDIMIENTO

7.1 Seleccione una ubicación/elevación que sea representativa del área que se va a probar y determiné la densidad del suelo in-situ de la siguiente manera:

7.1.1 Inspeccione el cono por si hubiera algún daño, la rotación libre de la válvula y cerciórese de que el plato de base funcione apropiadamente. Llene el contenedor del cono con la arena condicionada para la cual ya se ha determinado la densidad según el Anexo A2, y determine la masa total.

7.1.2 Prepare la superficie del sitio que se va a ensayar de tal manera que sea un plano nivelado. El plato de base debe utilizarse como una herramienta para remover la superficie a un plano de nivel suave.

7.1.3 Coloque el plato de base sobre la superficie plana, asegurándose de que existe contacto con la superficie del terreno alrededor del borde del orificio central. Marque el contorno del plato de base para revisar el movimiento durante la prueba y, si es necesario, asegure el plato contra el movimiento que se cause utilizando clavos insertados dentro del suelo adyacente al filo del plato, o en otros términos, sin disturbar el suelo que se va a probar.

7.1.4 En suelos donde la nivelación no es exitosa o la superficie presenta vacíos, el volumen que se expulsa horizontalmente y que está limitado por el embudo, el plato y la superficie del terreno debe determinarse mediante un ensayo preliminar. Llene el espacio con arena del aparato, determine la masa de la arena utilizada para llenar el espacio, rellene el aparato y determine una nueva masa

inicial del mismo y de la arena antes de proceder con la prueba. Después de que se complete esta medida, limpie cuidadosamente con una brocha la arena que queda sobre la superficie preparada (véase Nota 6).

Nota N° 06.- Puede tomarse un segundo aparato calibrado para el campo cuando se anticipa esta condición (en vez de volver a llenar o hacer una segunda determinación). Puede utilizarse el procedimiento en 7.1.4. para cada prueba cuando se desea la mayor producción donde se pueda obtener una superficie relativamente suave.

7.1.5 Cave el hoyo de prueba a través del orificio central en el plato de base, teniendo cuidado de evitar que se disturbe o se deforme el suelo que delimitará el orificio. Los volúmenes del orificio de prueba serán tan grandes como para que sean prácticos y minimicen los errores, y en ningún caso serán más pequeños que los volúmenes indicados en la Tabla N° 1 para el tamaño máximo de la partícula del suelo removido del orificio de prueba. Los lados del orificio deben inclinarse levemente hacia adentro, y la parte central debe ser razonablemente plana o cóncava. El orificio debe mantenerse lo más libre posible de vacíos, salientes y obstrucciones fluidas ya que esto afectaría la exactitud de la prueba. Los suelos que son esencialmente granulares requieren extremo cuidado y también requieren que se cave un orificio de prueba de forma cónica. Coloque todo el suelo excavado y cualquier otro suelo que se haya soltado durante la excavación, en un contenedor hermético que esté marcado para identificar el número de prueba. Tenga cuidado de evitar la pérdida de cualquier material. Proteja este material de cualquier pérdida de humedad hasta que se haya determinado la masa y se haya obtenido la muestra para la determinación del contenido de agua.

TABLA 1

Volúmenes Mínimos del Hoyo de Ensayo Basados en el Tamaño Máximo de la Partícula

Tamaño Máximo de la partícula		Volumen Mínimo del Orificio de Ensayo	
Pulgada	mm	cm ³	pies ³
½	12.5	1420	0.05
1	25.0	2120	0.075
2	50.0	2830	0.1

7.1.6 Limpie el borde del orificio del plato base, voltee el aparato de cono de arena y coloque el embudo del mismo en un orificio rebordeado en la misma posición que se marcó durante la calibración (véase Anexo A1). Elimine o minimice en el área de prueba las vibraciones que pueda causar el personal que realiza la prueba o el equipo que se utiliza. Abra la válvula y deje que la arena llene el orificio, el embudo y el plato base. Trate de evitar que el aparato se sacuda o vibre mientras la arena está corriendo. Cuando la arena deje de fluir, cierre la válvula.

7.1.7 Determine la masa del aparato con la arena restante, regístrela y calcule la masa de la arena utilizada.

7.1.8 Determine y registre la masa del material húmedo que se extrajo del orificio de prueba. Cuando se requiera correcciones del material de mayor tamaño, determine la masa de este material en la malla apropiada y regístrela, teniendo cuidado de evitar pérdidas de humedad. Cuando se requiera, efectúe las correcciones apropiadas para el material de mayor tamaño utilizando la Práctica ASTM D4718.

7.1.9 Mezcle el material cuidadosamente y obtenga un espécimen representativo para determinar el contenido de húmedo o, en todo caso, utilice una muestra completa.

7.1.10 Determine el contenido de humedad de acuerdo al Método de Ensayo MTC E 108.

7.2 Los especímenes para el contenido de humedad deben ser lo suficientemente grandes y seleccionados de tal manera que representen todo el material obtenido del orificio de prueba. La masa mínima de la muestra para determinar el contenido de agua es aquella que se requiere para dar valores del contenido de humedad exactos al 1%.

8. CÁLCULOS

8.1 Los cálculos mostrados son en gramos para la masa y en centímetros cúbicos para el volumen. Se permite otras unidades siempre y cuando cuenten con los factores apropiados de conversión; esto es para mantener cuidadosamente la consistencia de las unidades de cálculo. Véase 2.6. para comentarios adicionales respecto al uso de unidades pulgada-libra.

8.2 Calcule el volumen del orificio de prueba de la siguiente manera:

$$V = (M_1 - M_2) / \rho_1$$

Donde:

V	=	volumen del orificio de prueba, cm ³ .
M ₁	=	masa de la arena utilizada para llenar el orificio de prueba, embudo y plato de base, g (de 7.1.7).
M ₂	=	masa de la arena utilizada para llenar el embudo y el plato de base, g.
ρ ₁	=	densidad del volumen de la arena (del Anexo A2.3.5), g/cm ³ .

8.3 Calcule la masa seca del material extraído del orificio de prueba tal como sigue:

$$M_4 = 100 M_3 / (w + 100)$$

Donde:

W = contenido de humedad del material extraído del orificio de prueba, % (de 7.1.10).

M₃ = masa húmeda del material del hueco de ensayo, g (de 7.1.8).

M₄ = masa seca del material del hueco de ensayo, g.

8.4 Calcule la densidad húmeda y seca in-situ del material ensayado de la siguiente manera:

$$\rho_m = M_3 / V$$

$$\rho_d = M_4 / V$$

donde:

V = volumen del orificio de prueba, cm³ (de 9.2)

M₃ = masa húmeda del material del orificio de prueba, g (de 7.1.8)

M₄ = masa seca del material del orificio de prueba, g (de 8.3)

ρ_m = densidad húmeda del material probado, o su peso unitario húmedo γ_m , en g/cm³

ρ_d = densidad seca del material probado, o su peso unitario seco γ_d , en g/cm³.

8.5 Es preferible expresar la densidad in-situ como un porcentaje de alguna otra densidad, por ejemplo, las densidades de laboratorio determinadas de acuerdo a los Métodos de Ensayo MTC E 115, MTC E 116, ASTM D4253 ó ASTM D4254. Esta relación puede determinarse dividiendo la densidad in-situ entre la densidad de laboratorio y multiplicándola por 100. Los cálculos para determinar la densidad relativa se dan en el Método de Ensayo ASTM D 4254. Las correcciones para el material de mayor tamaño pueden realizarse de acuerdo a la práctica ASTM D 4718, en caso sea requerido.

9. INFORME

9.1. *Informe:* por lo menos, los siguientes datos debe contener:

9.1.1 Ubicación de la prueba, elevación, espesor del estrato probado u otros datos pertinentes para ubicar o identificar la prueba.

9.1.2 Volumen del orificio de ensayo, en cm³.

9.1.3 Densidad húmeda in-situ, en g/cm³.

9.1.4 Densidad seca in-situ, ρ_d , en g/cm³.

- 9.1.5 Peso unitario seco in-situ, en kN/m^3 ($\rho_d \times 9.807$), expresado lo más cercano posible a 0,1 kN/m^3 .
- 9.1.6 Contenido de agua del suelo in-situ, expresado como un porcentaje de masa seca, y el método de ensayo utilizado.
- 9.1.7 Identidad del aparato de prueba y volumen calibrado.
- 9.1.8 Densidad del volumen de la arena utilizada, en g/cm^3 .
- 9.1.9 Descripción visual del suelo o designación del material.
- 9.1.10 Masa y porcentaje de las partículas de mayor tamaño y el tamaño de la malla utilizada, en caso se hay empleado una.
- 9.1.11 Comentarios acerca del ensayo, si se da el caso.
- 9.1.12 Si la densidad sea in-situ o el peso está expresado como un porcentaje de otro valor, incluya lo siguiente:
- 9.1.12.1 El método de ensayo de laboratorio utilizado.
- 9.1.12.2 La densidad seca comparativa o el valor del peso unitario y el contenido de agua utilizado.
- 9.1.12.3 La corrección del material de mayor tamaño y detalles, si se diera el caso.
- 9.1.12.4 El porcentaje comparativo del material in-situ para el valor de comparación.
- 9.1.13 Si la densidad in-situ, el peso unitario o el contenido de humedad van a utilizarse para una aceptación, incluya los criterios de aceptación que se aplican al ensayo.

10. PRECISION Y CONFIABILIDAD

10.1 Establecimiento de la Presión – Debido a la naturaleza del suelo o de los materiales rocosos que se probaron mediante este método, aún no es posible, o en todo caso sería muy costoso en estos momentos, producir especímenes múltiples que tengan propiedades físicas uniformes. Cualquier variación que se observe en los datos es sólo una probabilidad que se debe a la variación del espécimen o al operador, o una variación de la prueba de laboratorio.

10.2 Establecimiento de la Confiabilidad – No existe un valor de referencia aceptado para este método de ensayo, por lo tanto, la confiabilidad no puede ser determinada.

10.3 Mientras no se haya completado un ensayo formal secuenciado en series, el Subcomité ASTM D18.08 estima, mediante los datos disponibles, que los resultados de dos pruebas conducidas apropiadamente, realizadas por un operador experimentado en el mismo material en el tiempo y ubicación dados no deben ser diferentes por más de 3.2 kg/m^3 aproximadamente. Las pruebas realizadas por operadores inexpertos en el mismo material pueden producir diferencias sustancialmente mayores.

11. PALABRAS CLAVES

11.1 Las siguientes palabras claves son aplicables a este método de ensayo de acuerdo a la Práctica ASTM D3584: prácticas de aceptación, pruebas de compactación; grado de compactación; pruebas de densidad; llenado de tierra; terraplenes; densidad de control de campo; pruebas de campo; densidad in-situ; densidad seca in-situ; densidad in-situ; densidad relativa; cono de arena; compactación del suelo; pruebas de suelo; peso unitario.

ANEXOS

(Información Recomendable)

A1 CALIBRACION DEL APARATO DE CONO DE ARENA

A1.1 ALCANCES

A1.1.1 Este anexo describe el procedimiento para determinar la masa de la arena contenida en el embudo y en el plato base del aparato de cono de arena.

A1.1.2 La masa de arena contenida en el aparato y en plato base depende de la densidad y volumen de la arena. En consecuencia, este procedimiento de realizarse por cada aparato en cualquier momento que haya cambios en la densidad volumétrica de la arena.

A1.2 PROCEDIMIENTOS DE CALIBRACIÓN

A1.2.1 La calibración del aparato puede cumplirse mediante cualquiera de estos dos métodos:

A1.2.1.1 Método A.— Determinado la masa de la arena calibrada que puede estar contenida en cada conjunto de embudo y plato base, o

A1.2.1.2 Método B.— Determinando el volumen de la arena que se necesita para llenar cada conjunto de embudo y plato base y aplicando este volumen constante en el momento que se calcule la densidad y volumen de la arena nueva.

A1.2.1.3 Debido a que la masa de la arena contenida en el aparato de embudo y plato base depende de la densidad y volumen de la arena, cuando se utilice el Método A, debe repetirse dicho método al momento que haya cambios en la densidad volumétrica de la arena.

A1.2.2 Todas las determinaciones de la masa serán lo más cercano posible a 5 g.

A1.2.3 MÉTODO A:

A1.2.3.1 Llene el aparato con la arena que está seca y condicionada al mismo estado anterior, durante el uso en la prueba.

A1.2.3.2 Determine la masa del aparato lleno con arena, g.

A1.2.3.3 Coloque el plato base en una superficie plana, nivelada y limpia. Inserte el contenedor/aparato y coloque el embudo en el orificio central rebordeado en el plato base. Marque e

identifique el aparato y el plato base de tal manera que ambos puedan identificarse y reubicarse en la misma posición durante la prueba.

A1.2.3.4 Abra completamente la válvula hasta que la arena deje de fluir, asegurándose de que el aparato, el plato base o la superficie plana no se agite o vibre antes de que se cierre la válvula.

A1.2.3.5 Cierre bien la válvula, saque el aparato y determine la masa del aparato y la arena restante. Calcule la masa de la arena utilizada para llenar el embudo y el plato base como la diferencia entre la masa inicial y final.

A1.2.3.6 Repita el procedimiento por lo menos tres veces. La variación máxima entre cualquiera de las determinaciones y el promedio no debe exceder el 1%. Utilice el promedio de las tres determinaciones para este valor en los cálculos del ensayo.

A1.2.4 MÉTODO B (Opcional):

A1.2.4.1 Cuando se anticipa un gran número de pruebas y lotes de arena, puede ser ventajoso determinar el volumen de cada aparato y plato base. Si se tiene cuidado con el aparato o se maneja adecuadamente los platos base, este volumen se mantendrá constante y evitará la necesidad de repetir el Método A cuando cambie la densidad volumétrica de la arena (véase Nota A1.1). Si se elige esta alternativa, se debe alterar los cálculos en la prueba de campo para determinar el volumen total de la arena en el orificio de ensayo de campo y el aparato. Luego se sustrae el volumen del aparato para determinar el volumen de orificio de prueba.

A1.2.4.2 Determine la masa de la arena requerida para llenar el embudo del aparato y el plato base de acuerdo al anexo A1.2.3, siguiendo los pasos A1.2.3.1 hasta el A1.2.3.6. para cada lote de arena.

A1.2.4.3 Calcule el volumen del embudo y del plato base dividiendo la densidad volumétrica de la arena (tal como se determina en el Anexo A2) entre la masa de la arena encontrada en A1.2.3.6. Realice un mínimo de tres determinaciones y calcule el valor promedio. La variación máxima del volumen entre cualquiera de las determinaciones y el promedio no debe exceder el 1% Utilice el promedio de los valores cuando realice cálculos de prueba.

A2. CALIBRACION DE LA DENSIDAD DE LA ARENA

A2.1 ALCANCES

A2.1.1 Este anexo se utiliza para determinar la densidad volumétrica (calibración) de la arena que se va a utilizar en este método de prueba.

A2.1.2 La calibración determina la densidad promedio de la arena que se va a utilizar para calcular el volumen del orificio de prueba.

A2.2 EQUIPO REQUERIDO

A2.2.1 **Contenedor.**– Seleccione un contenedor de volumen conocido que sea aproximadamente de la misma medida y permite que la arena caiga aproximadamente la misma distancia que el orificio excavado durante la prueba de campo. Se recomienda utilizar los moldes de 1/30 pies³ (944 cm³) y de 1/13,33 pies³ (2 124 cm³) que se especifican en el Método de Ensayo MTC E 115 y MTC E 116, o el molde de 0,1 pie³ (2 830 cm³) especificado en el Método de Ensayo ASTM D4253.

A2.2.2 **Aparto de Cono de Arena.**– Utilice un aparato de cono de arena del mismo tamaño y diseño como el que se utilizará durante la prueba de campo.

A2.2.2.1 Las características de flujo se han mostrado a través del ensamble de valores diferentes para causar valores de densidad volumétrica diferentes. La determinación de la densidad volumétrica será requerida para cada aparato o menos que se determine que otros aparatos dan los mismos resultados.

A2.2.3 **Balanza.**– Una balanza que tenga una capacidad suficiente como para determinar la masa del contenedor de calibración llenada con arena. Para contenedores de 0,500 pies³ (14 200 cm³), se requiere una balanza que tenga una capacidad mínima de 50 lb (20kg) y reúna los requerimientos de la Especificación ASTM D4753, para una lectura de 0.01 lb (5 g).

A2.2.4 **Regla recta metálica.**– de alrededor de 2 pulg. (50 mm) de ancho, al menos 1/8 pulg. (3mm) de espesor y un largo de aproximadamente 1,5 veces más del diámetro del contenedor de calibración.

A2.3 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD VOLUMÉTRICA

A2.3.1 Llene el aparato ensamblado con arena. La arena debe secarse y acondicionarse al mismo estado anterior durante el uso.

A2.3.2 Determine y anote la masa del contenedor de calibración cuando esté vacío.

A2.3.3 MÉTODO A (Preferible):

A2.3.3.1 Cuando el contenedor de calibración tenga el mismo diámetro que el orificio central rebordeado en el plato base, invierta y centre el aparato llenado de arena y el plato base en el contenedor de calibración.

A2.3.3.2 Abra la válvula completamente y deje que la arena llene el contenedor. Cuando la arena deje de fluir, cierre la válvula.

A2.3.3.3 Determine la masa del aparato y de la arena restante. Calcule la masa neta de la arena en el contenedor de calibración sustrayendo la masa de la arena contenida en el cono y en el plato base (tal como se determina en el Anexo A1) y anótela.

A2.3.4 MÉTODO B (Alternativo):

A2.3.4.1 Voltee y apoye el aparato sobre el contenedor de calibración de tal manera que la arena caiga aproximadamente en la misma distancia y ubicación como en la prueba de campo, y luego abra la válvula completamente.

A2.3.4.2 Llene el contenedor hasta que rebalse y cierre la válvula. Utilizando un número mínimo de lotes y teniendo cuidado de no hacer vibrar o densificar una superficie nivelada suave. Cualquier vibración o movimiento durante la determinación de la densidad volumétrica tendrá como consecuencia el asentamiento y la densificación de la arena, llevando a resultados erróneos.

A2.3.4.3 Limpie cualquier arena que se encuentre fuera del contenedor de calibración. Determine la masa del contenedor y de la arena. Registre la masa neta de la arena sustrayendo la masa del contenedor de vacío.

A2.3.5 Realice por lo menos tres determinaciones de densidad volumétrica y calcule el promedio. La variación máxima entre cualquiera de las determinaciones y el promedio no debe exceder el 1%. Las determinaciones repetidas que no reúnan estos requerimientos indican una densidad de la arena no-uniforme, y la fuente de la arena debe volver a evaluarse para que los resultados sean adecuados. El valor promedio obtenido se utilizará en los cálculos de la prueba.

A2.4 CÁLCULO.

A2.4.1 Calcule la densidad volumétrica de la arena de la siguiente manera.

$$\rho_1 = M_5 / V_1$$

Donde:

- ρ_1 = volumen del contenedor de calibración, cm^3 (multiplique por 9.807 para kN/m^3).
 M_5 = masa de la arena para llenar el contenedor de calibración, g (de A2.3.4.3.), y
 V_1 = volumen del contenedor de calibración, cm^3 (de A2.2.1.1).

REFERENCIA NORMATIVA

ASTM	D 1556
-------------	---------------

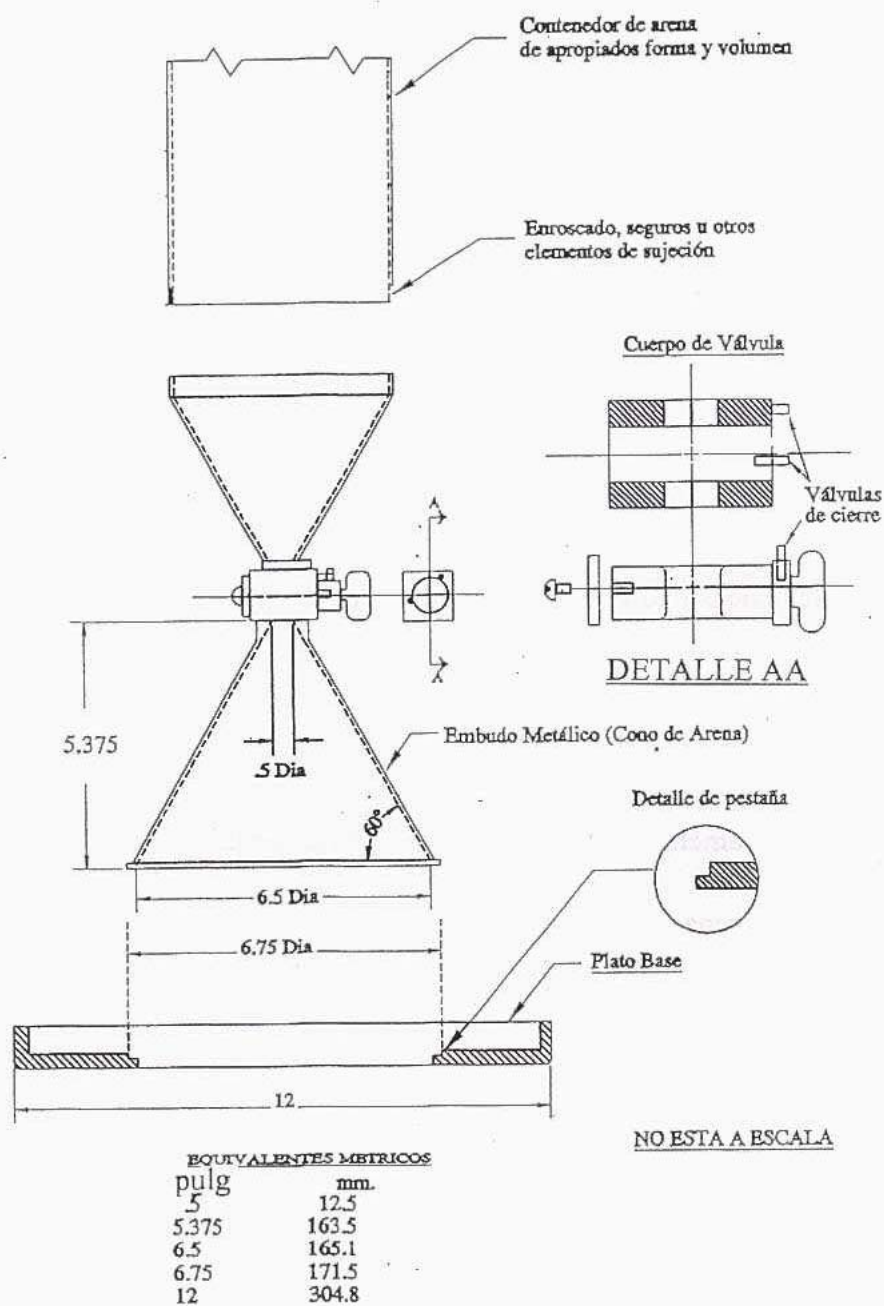


FIG. 1 APARATO DE DENSIDAD