

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 μm (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 (ρ_{\min})* – 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_{\max})* – Es la relación de vacíos de referencia, asociada a la masa unitaria seca mínima.
- 2.3** *Masa unitaria seca máxima o densidad seca máxima (ρ_{\max})* – Aquella que alcanza la arena cuando se la compacta en estado seco con una energía por unidad de volumen de 5500 J/dm³, y que está asociada al grado más denso de compactación o acomodo del suelo.
- 2.4** *Relación de vacíos mínima (e_{\min})* – 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 ρ_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 $943 \pm 8 \text{ cm}^3$ ($1/30 \text{ pie}^3$); 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).

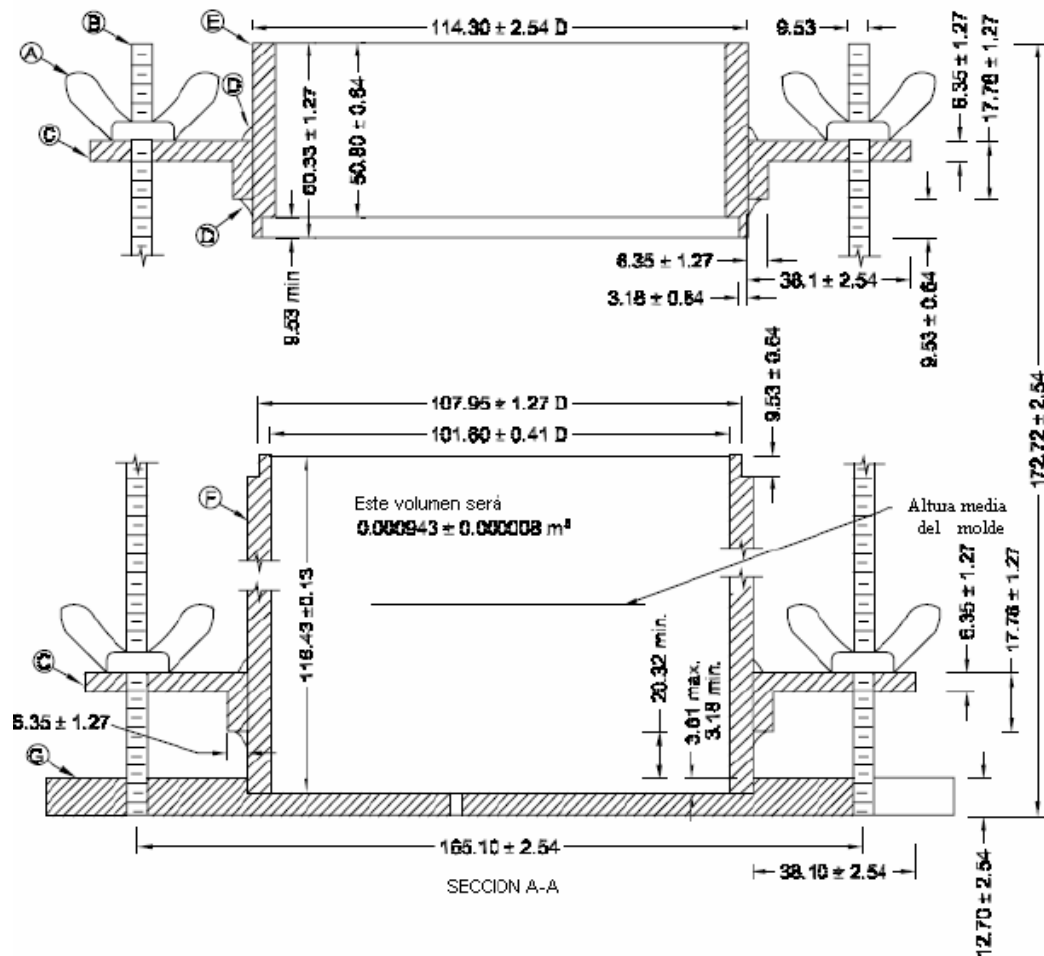


Figura 136 - 1. Molde para obtener masas unitarias máximas y mínimas

- 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 mm de diámetro, y espesor 12.7 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°C .
- 4.5 *Tamiz* – Un tamiz de 4.75 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.

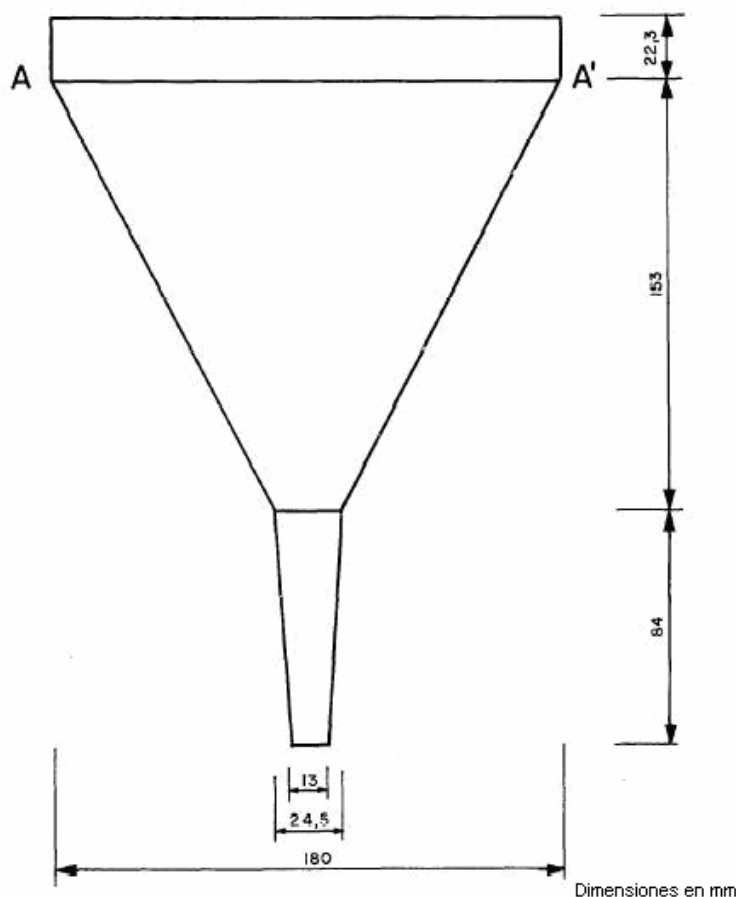


Figura 136 - 2. Embudo para determinación de masas unitarias mínimas

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 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 (cm^3/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 g/cm³, 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 g/cm³, 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;

ρ_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