

ICS 93.020

Junio 1995

TÍTULO

Determinación "*in situ*" de la densidad de un suelo por el método de la arena

Determination "in situ" of Density of soil by the sand Method.

Détermination en place de la densité dans un sol par la méthode de sable.

CORRESPONDENCIA

OBSERVACIONES

ANTECEDENTES

Esta Norma Española ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 103 *Geotecnia* cuya Secretaría desempeña MOPTMA.

Editada e impresa por AENOR
Depósito legal: M 20667:1995

© AENOR 1995
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

AENOR

Fernández de la Hoz, 52
28010 MADRID-España

Asociación Española de
Normalización y Certificación

Teléfono (91) 310 48 51
Telefax (91) 310 36 95

15 Páginas

Grupo 8

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

El objeto de este ensayo es determinar *"in situ"* la densidad de un suelo que no contenga partículas mayores de 50 mm, mediante la excavación de un agujero.

Se puede ensayar cualquier suelo que permita ser excavado manualmente, pero que tenga la cohesión suficiente para que las paredes del agujero se mantengan estables durante el ensayo.

Este método se usa para determinar la densidad de suelos compactados empleados en la construcción de terraplenes, carreteras, etc. y como base para la aceptación de suelos compactados respecto de un porcentaje dado de la densidad máxima obtenida en el ensayo de compactación correspondiente¹⁾.

2 NORMAS PARA CONSULTA

UNE 7 050-2 – *Tamices de ensayo. Telas metálicas, chapas perforadas y láminas electroformadas. Medidas nominales de las aberturas.*

UNE 103 300 – *Determinación de la humedad de un suelo mediante secado en estufa.*

UNE 103 500 – *Geotecnia. Ensayo de compactación. Proctor normal.*

UNE 103 501 – *Geotecnia. Ensayo de compactación. Proctor modificado.*

3 APARATOS Y MATERIAL NECESARIO

- Un dispositivo especial, constituido por un frasco o bote, una válvula de cierre y un cono con las características y dimensiones especificadas en la figura 1.

La capacidad mínima del frasco debe ser de 4 000 cm³. El modelo que aparece en la figura 1 (b), permite incorporar botes de mayores capacidades por si fuese necesario en función del volumen del agujero excavado.

- Plato metálico o bandeja, de forma rectangular o cuadrado con un agujero central. Debe disponer de bordes laterales, ser plano, y de un espesor y dureza suficiente para que se mantenga rígido. Puede también disponer, en los bordes del agujero, de un escalón para que encaje la base del cono, como se ve en la figura 1 (c). Puede también llevar acoplados en la base que está en contacto con el suelo, unos pequeños pinchos para evitar desplazamientos laterales durante los trabajos de excavación.

El diámetro del agujero, será el apropiado al tamaño máximo del material extraído del mismo. Puede servir de carácter orientativo lo señalado en la tabla 1:

Tabla 1

Diámetro máximo partícula mm	Diámetro mínimo agujero mm	Profundidad mínima agujero mm	Volumen mínimo agujero cm³
5	100	150	1 200
12,5	110	150	1 500
25	130	150	2 000
50	160	150	3 000

1) Si se va a calcular la humedad y la densidad seca, este método no es apropiado en ciertos suelos que contengan cantidades significativas de haloysita, montmorillonita, yesos, suelos orgánicos o con sales disueltas.

- Arena de tamaño uniforme, que pase por el tamiz 2,0 mm Norma UNE 7 050-2 y quede retenida en el 0,25 mm Norma UNE 7 050-2. Es importante que esté bien limpia y seca¹⁾.
- Balanza de 10 kg de capacidad con precisión 1 g y otra de 2 kg con precisión 0,01 g.
- Estufa de desecación, con temperatura regulable hasta 115 °C.
- Varios botes o frascos estancos de 3 500 cm³ de capacidad mínima, para almacenar el suelo extraído durante la excavación.
- Herramientas para excavar y retirar el terreno, adecuadas al suelo de que se trate (paleta, cucharón, martillo, cincel, brocha, etc.).
- Tamices de 0,25 mm, 2,00 mm, 20,0 mm y 50,0 mm, Norma UNE 7 050-2.
- Calibre de precisión 0,1 mm.

4 CALIBRACIÓN DE LA ARENA NORMALIZADA

La calibración de la arena normalizada se puede realizar por dos métodos diferentes. En ambos, la determinación de las masas se hace con una precisión de 1 g.

4.1 Método "A"

Se sigue la secuencia descrita en el Impreso nº 1, Método "A", del anexo.

Primero se mide el volumen del frasco hasta la válvula, de la forma siguiente:

- Se emplea parafina u otra sustancia estanca al agua, para recubrir todas las juntas o uniones, del dispositivo representado en la figura 1 que se vaya a usar, por donde se pudiera escapar el agua.
- Se determina la masa en gramos, t , del dispositivo parafinado y se anota.
- Se coloca el dispositivo sobre una base firme y se abre la válvula.
- Se llena de agua el conjunto, hasta que rebose la válvula.
- Se cierra la válvula y se elimina el exceso de agua sobre aquella y la que pudiera quedar en las paredes del dispositivo.
- Se determina la masa en gramos, $(t + a)$, del dispositivo parafinado más el agua. Se mide también la temperatura del agua T , con precisión de 1°C.
- Se determina la masa de agua, (a) , necesaria para llenar el dispositivo hasta la válvula, y se anota. Para ello, se resta la masa del dispositivo parafinado más el agua, $(t + a)$, de la masa del dispositivo parafinado, t .
- Se repite tres veces el procedimiento anterior.

1) Sirve a este fin la "arena normal del Manzanares para morteros", utilizada en ensayos de mortero de cemento. Su granulometría está prácticamente comprendida entre los tamices 1,25 mm Norma UNE 7 050-2 y 0,63 mm Norma UNE 7 050-2. La arena ya utilizada puede reutilizarse, tamizándola de nuevo por los tamices límites y secando en estufa hasta masa constante.

- Se determina el volumen en cm^3 , V_i , del agua, haciendo la corrección por temperatura. El volumen del frasco hasta la válvula es el valor medio de las tres determinaciones realizadas. La diferencia máxima entre el volumen medio y cada una de las determinaciones no debe superar los 5 cm^3 .

Se determina la masa de la arena que llena el frasco, de la siguiente manera:

- Se elimina completamente la parafina del dispositivo, se limpia y se seca tanto interior como exteriormente.
- Se determina la masa en g, t' , del dispositivo.
- Se coloca el dispositivo vacío sobre una base firme, se cierra la válvula, y se llena el cono con arena normalizada.
- Se abre la válvula y mientras que se mantiene el cono al menos con arena hasta su mitad, se vierte ésta, y se llena el frasco hasta rebasar su válvula. Hay que tener la precaución de no golpear o mover el dispositivo en esta operación. Cuando la arena deje de caer, se cierra la válvula y se elimina el exceso de aquélla.
- Se determina la masa en g, $t' + S_i$, del dispositivo lleno de arena hasta su válvula.
- Se determina la masa de la arena, S_i , restando las dos anteriores.
- Se repite tres veces este procedimiento.
- La masa de la arena que se usa en los cálculos es la masa media de las tres determinaciones, S_m , en gramos. La diferencia máxima entre la masa media y una cualquiera de las determinaciones, no debe exceder del 1%.

La determinación de la masa de arena calibrada necesaria para llenar el cono y el plato metálico se hace como sigue:¹⁾

- Se llena el dispositivo con arena hasta la válvula, siguiendo el procedimiento ya indicado. Se cierra la válvula, eliminando el exceso de aquélla y se halla la masa en g, s_{ci} , del dispositivo y la arena.
- Se coloca el plato metálico, sobre una superficie plana y limpia.
- Se invierte el dispositivo, y se sitúa centrado sobre el orificio del plato. Se abre la válvula y se mantiene abierta hasta que deje de caer arena. Cuando finaliza, se cierra la válvula. Es necesario evitar todo golpe o vibración durante esta operación.
- Se determina la masa en g, s'_{ci} , del dispositivo más la arena que queda en su interior.
- Por diferencia de masas se calcula la arena perdida, s''_{ci} en g. Esta arena perdida representa la masa de arena necesaria para que se llene el cono y el orificio del plato metálico.
- Se repite tres veces este procedimiento.
- Se halla la media aritmética de las tres determinaciones, s_m en g. La diferencia máxima entre la media y cualquiera de las determinaciones debe ser inferior al 1%.

1) Si se dispone de platos con orificios de diferentes diámetros, se debe hacer esta calibración con cada plato de la base.

Numéricamente, se calcula el volumen del frasco hasta la válvula, como sigue:

$$V_i = K \cdot a \quad \text{con } i = 1, 2, 3,$$

donde

V_i es el volumen del frasco hasta la válvula, en cm^3 ;

a es la masa de agua necesaria para llenar el frasco hasta la válvula, en g;

K es la corrección de volumen por la temperatura del agua (véase tabla 2).

Tabla 2
Volumen de agua por gramo en función de la temperatura

Temperatura (°C) T	Volumen de agua (cm^3/g) K
12	1,00048
14	1,00073
16	1,00103
18	1,00138
20	1,00177
22	1,00221
24	1,00268
26	1,00320
28	1,00375
30	1,00435
32	1,00497

El volumen medio de agua en cm^3 , es:

$$V = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{3}$$

– Se calcula la densidad de la arena normalizada, como sigue:

$$\rho_{\text{are}} = \frac{S_m}{V}$$

donde

ρ_{are} es la densidad de la arena normalizada, en g/cm^3 ;

S_m es la masa media de la arena calibrada necesaria para que se llene el frasco hasta la válvula, en g;

V es el volumen medio de agua del frasco hasta la válvula, en cm^3 .

4.2 Método "B"

Este método se puede hacer por dos procedimientos:

4.2.1 Primer procedimiento. Se sigue la secuencia descrita en el Impreso nº 1. Método "B". Primer procedimiento, del anexo.

Para ello, se selecciona un recipiente de volumen conocido y que sea similar al del agujero a excavar. Se pueden emplear los moldes del ensayo de compactación Proctor normal y ensayo de compactación Proctor modificado, de las Normas UNE 103 500 y UNE 103 501.

Se mide el volumen V del recipiente, con una precisión de $0,5 \text{ cm}^3$, y se determina su masa M_R , con una precisión de 1 g .

Se llena, el dispositivo representado en la figura 1 que se vaya a emplear, con la arena normalizada hasta la válvula, siguiendo el procedimiento descrito anteriormente.

Se sitúa sobre el recipiente de volumen conocido y en posición invertida, este dispositivo de forma que la arena pueda caer desde aproximadamente la misma altura que caería en el ensayo a realizar en el campo. Se abre la válvula completamente y se llena el recipiente hasta que rebose la arena por el exterior. Se cierra la válvula cuidadosamente y se enrasa el recipiente.

Se determina la masa del recipiente lleno de arena M_{ai} , con precisión de 1 g . Por diferencia, se obtiene la masa de la arena que llena el recipiente S_m .

Se repite tres veces este proceso. La masa usada en los cálculos, es la masa media de las tres determinaciones, S_m . La máxima diferencia entre ésta y cada una de las tres, no debe exceder del 1%.

Se determina la densidad de la arena, ρ_{are} , en g/cm^3 , mediante la expresión:

$$\rho_{are} = \frac{S_m}{V}$$

donde

S_m es la masa media de la arena usada para llenar completamente un recipiente de volumen conocido, expresada en g;

V es el volumen del recipiente en cm^3 .

4.2.2 Segundo procedimiento. Se sigue la secuencia descrita en el Impreso nº 1. Método "B". Segundo procedimiento, del anexo.

Cuando el recipiente de volumen conocido tiene el mismo diámetro que el del agujero de la bandeja o plato metálico, se puede simplificar el primer procedimiento, colocando dicho plato sobre el recipiente de volumen conocido. En este caso, no es necesario eliminar la arena sobrante, pues se determina la masa del dispositivo con la arena antes y después de llenar el recipiente, y la masa necesaria para llenar el cono y el plato metálico se obtienen por diferencias.

Se sigue el proceso de cálculo descrito en el impreso antes mencionado.

5 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

5.1 Excavación del agujero

Antes de proceder a la excavación del agujero, se debe alisar la superficie del terreno donde se quiera hacer el ensayo, en una superficie algo mayor que la de la bandeja o plato metálico. En esta operación puede servir de ayuda el borde del plato.

Una vez alisada la superficie se coloca el plato metálico sobre aquélla, empujando ligeramente contra el terreno. Se debe cuidar que no quede separación entre el terreno y el plato metálico, por donde se pueda escapar la arena normalizada durante el llenado del agujero.

Se excava un agujero de forma, aproximadamente cilíndrica, de una profundidad mínima de 150 mm y un diámetro que debe ser función del tamaño máximo del material extraído, (véase tabla 1), empleando para ello los utensilios adecuados.

Se retira y se guarda en un bote estanco todo el material excavado, procurando que durante este proceso la pérdida de humedad sea la menor posible. Este bote debe ser marcado para identificar el ensayo realizado.

Se determina la masa húmeda en g, P_5 , del material extraído del agujero y se anota en la casilla correspondiente del Impreso nº 2 del anexo.

Para la determinación de la humedad se puede usar la totalidad del suelo excavado o una porción representativa del mismo, siguiendo el procedimiento indicado en la Norma UNE 103 300. (Véase Impreso nº 2 del anexo).

Si durante la excavación del agujero apareciera alguna partícula de tamaño superior a 50 mm, se debe empezar de nuevo en otro punto y hacer mención de ello en los resultados.

5.2 Medición del volumen del agujero

Para determinar el volumen del agujero¹⁾, se procede como se indica a continuación. (Véase Impreso nº 2 del anexo):

- Se coloca el dispositivo vacío sobre una base firme, se cierra la válvula y se llena el cono con arena normalizada.
- Se abre la válvula y manteniendo el cono con arena hasta su mitad, se llena el frasco hasta la válvula. Hay que tener mucho cuidado en no golpear o mover el dispositivo en esta operación. Cuando la arena deje de caer, se cierra la válvula y se elimina el exceso de arena.
- Se determina la masa del dispositivo con la arena, P_1 , en gramos.
- Con la válvula cerrada, se coloca el dispositivo invertido sobre el agujero excavado y el plato metálico.
- Se abre la válvula y se deja caer la arena hasta que se aprecie que ya no cae más, cerrando a continuación la válvula. La arena vertida, es la arena necesaria para que se llene el agujero excavado, el orificio del plato metálico, y el cono del dispositivo.
- Se determina la masa del dispositivo con la arena que queda, P_2 , en gramos.

1) Cuando este ensayo se realice para comparar la densidad obtenida con la densidad seca máxima del ensayo de compactación elegido, el total del material extraído del agujero se debe tamizar por el 20,0 mm Norma UNE 7 050-2, determinando la masa y el volumen del material retenido a fin de descontar estos valores de los correspondientes del material extraído del agujero.

6 OBTENCIÓN Y EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS

6.1 Obtención de la humedad y densidad del suelo "in situ"

Para la determinación de la humedad y densidad del suelo "in situ", se sigue la secuencia de operaciones especificada en el Impreso nº 2. Para ello:

- Se calcula el volumen del agujero, V_h , como sigue:

$$V_h = \frac{P_4}{\rho_{are}} = \frac{P_3 - s_m}{\rho_{are}}$$

donde

V_h es el volumen del agujero excavado en cm^3 ;

P_3 es la masa de arena necesaria para llenar el agujero, el plato metálico, y el cono, en gramos;

s_m es la masa de arena necesaria para llenar el cono y el plato metálico, en gramos;

ρ_{are} es la densidad de la arena normalizada en g/cm^3 .

- Se calcula la masa total seca extraída del agujero, como sigue:

$$P_6 = \frac{100 P_5}{(w + 100)}$$

donde

w es el porcentaje de humedad del material extraído;

P_5 es la masa húmeda total del material extraído, en gramos;

P_6 es la masa seca total del material extraído.

- Se calculan las densidades húmeda y seca "in situ" del material extraído, como sigue:

$$\rho = P_5/V_h \quad y$$

$$\rho_d = P_6/V_h$$

donde

V_h es el volumen del agujero excavado, en cm^3 ;

P_5 es la masa húmeda total del material extraído del agujero, en gramos;

P_6 es la masa seca total del material extraído del agujero, en gramos;

ρ es la densidad húmeda del material extraído, en g/cm^3 ;

ρ_d es la densidad seca del material extraído, en g/cm^3 .

6.2 Expresión de los resultados

Se expresa la densidad seca del suelo extraído "*in situ*", ρ_d , en g/cm³ y la humedad del mismo en %.

7 BIBLIOGRAFÍA

ASTM D1556-82 – *Test Method for Density of Soil In Place by the Sand-cone Method.*

NLT-109/72 – *Densidad "in situ" por el método de la arena.*

Medidas en milímetros

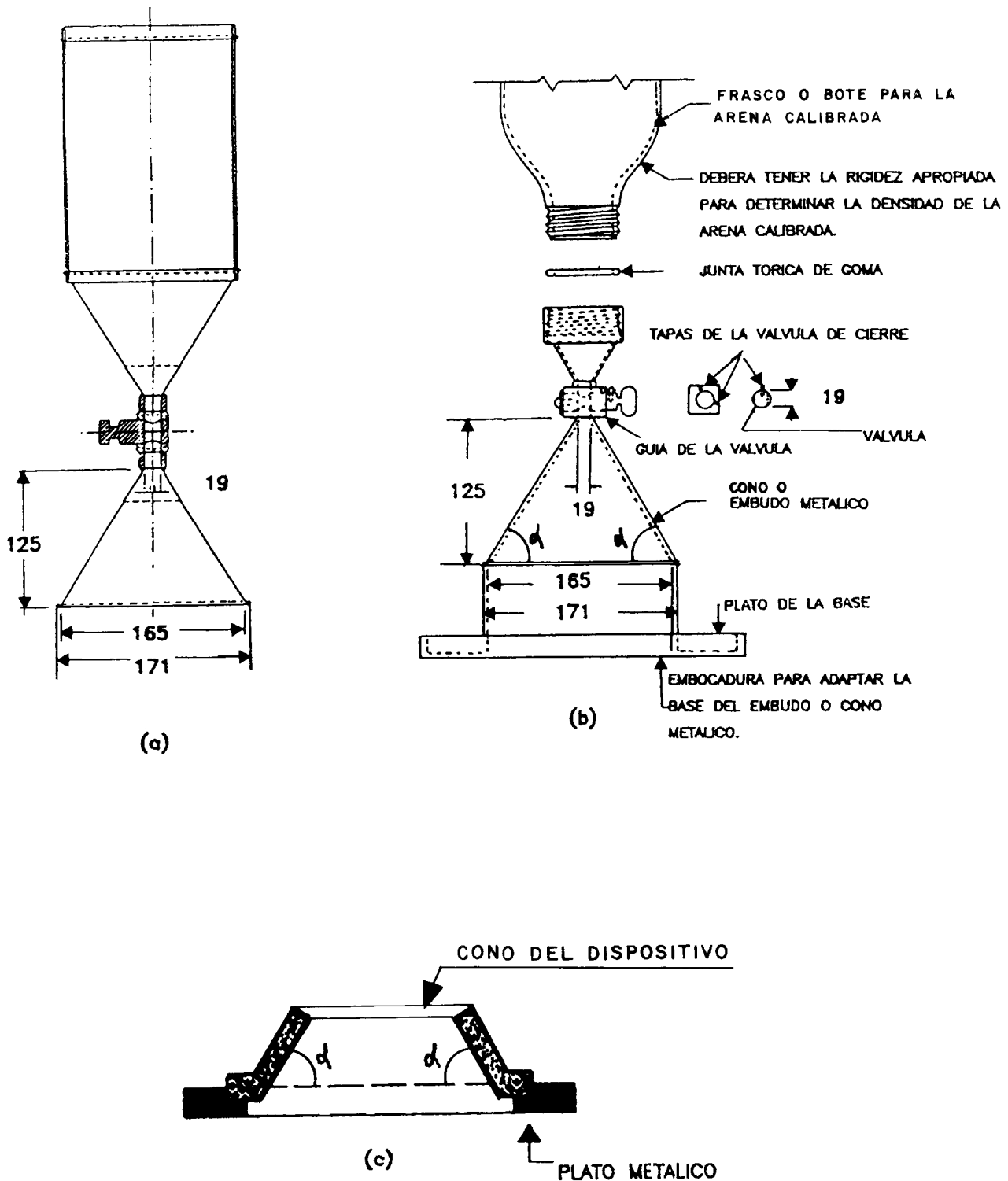


Fig. 1 - Dispositivos del ensayo

ANEXO A (Normativo)**MODELOS DE IMPRESOS PARA LA EXPRESIÓN DE RESULTADOS****IMPRESO N° 1 – MÉTODO "A"****CALIBRACIÓN**

CALIBRACIÓN DE LA ARENA				
	Referencia dispositivo			
t	Masa dispositivo parafinado (g)			
t + a	Masa dispositivo parafinado más agua (g)			
T	Temperatura del agua (°C)			
a = (t+ a) - t	Masa de agua necesaria para llenar dispositivo hasta la válvula (g)			
$V_i = K a^{1)}$ $1 \leq i \leq 3$	Volumen de agua en cm³ para llenar el dispositivo corregido por temperatura (cm³)			
$V_1+ V_2+ V_3$ $V= \frac{\hspace{1cm}}{3}$	Volumen medio de agua (cm³)			
t'	Masa dispositivo (g)			
t' + S _i	Masa dispositivo lleno de arena calibrada (g)			
$S_i= (t'+ S_i)-t'$ $1 \leq i \leq 3$	Masa arena calibrada (g)			
$S_1+ S_2+ S_3$ $S_m= \frac{\hspace{1cm}}{3}$	Masa media de arena calibrada (g)			
$\rho_{are} = S_m/V$	Densidad arena calibrada (g/cm³)			
Masa de arena del cono más plato metálico				
s _{ci}	Masa dispositivo lleno de arena calibrada (g)			
s' _{ci}	Masa dispositivo más arena que queda (g)			
$s''_{ci}= s_{ci}-s'_{ci}$ $1 \leq i \leq 3$	Masa de arena del cono más la del orificio del plato metálico (g)			
$s''_1+ s''_2+ s''_3$ $s_m= \frac{\hspace{1cm}}{3}$	Masa media de arena del cono más el plato metálico (g)			

1) Los valores de K se obtiene de la Tabla 2.

IMPRESO Nº 1 - MÉTODO "B"

PRIMER PROCEDIMIENTO

V	Volumen del recipiente (cm ³)			
M_R	Masa del recipiente de volumen conocido (g)			
M_{ai} $1 \leq i \leq 3$	Masa del recipiente más masa arena normalizada (g)			
$S_{mi} = M_{ai} - M_R$ $1 \leq i \leq 3$	Masa arena normalizada que llena el recipiente (g)			
$S_m = \frac{S_{m1} + S_{m2} + S_{m3}}{3}$	Masa media de arena para llenar el recipiente (g)			
$\rho_{are} = \frac{S_m}{V}$	Densidad de la arena g/cm ³			

IMPRESO Nº 1 – METODO "B"

SEGUNDO PROCEDIMIENTO

CALIBRACIÓN DE LA ARENA				
Masa de arena del cono más plato metálico				
s_{ci}	Masa dispositivo lleno de arena calibrada (g)			
s'_{ci}	Masa dispositivo más arena que queda (g)			
$s''_{ci} = s_{ci} - s'_{ci}$ $1 \leq i \leq 3$	Masa de arena del cono más la del orificio del plato metálico (g)			
$s_m = \frac{s''_1 + s''_2 + s''_3}{3}$	Masa media de arena del cono más el plato metálico (g)			
V	Volumen del recipiente (cm ³)			
S_i $1 \leq i \leq 3$	Masa del dispositivo lleno de arena calibrada (g)			
S' $1 \leq i \leq 3$	Masa del dispositivo más arena que queda tras el vertido (g)			
$S_{ti} = S_i - S'_i$ $1 \leq i \leq 3$	Masa de arena que llena el recipiente más el cono y el plato metálico			
$S_{mi} = S_{ti} - s_m$	Masa de arena media para llenar el recipiente (g)			
$S_m = \frac{S_{m1} + S_{m2} + S_{m3}}{3}$	Masa de arena media para llenar el recipiente (g)			
$\rho_{are} = \frac{S_m}{V}$	Densidad de la arena (g/cm ³)			

IMPRESO N° 2

HUMEDADES

-	Referencia tara						
$a = (t + s + a) - (t + s)$	Agua						
$t + s + a$	Tara+ suelo+ agua						
$t + s$	Tara+ suelo						
t	Tara						
$S = (t + s) - t$	Suelo						
$w = a/s \times 100$	% Humedad						

Las determinaciones de humedad se pueden hacer con el total de la masa extraída o con una porción representativa

DENSIDADES

-	Ensayo n°						
-	Referencia dispositivo						
P_1	Masa dispositivo + masa arena antes del ensayo (g)						
P_2	Masa dispositivo + masa arena una vez vertida (g)						
$P_3 = P_1 - P_2$	Masa de arena del agujero + plato + cono (g)						
$P_4 = P_3 - s_m$	Masa de arena del agujero (g)						
$V_h = P_4/\rho_{are}$	Volumen del agujero (cm ³)						
P_5	Masa total húmeda extraída del agujero (g)						
$P_6 = \frac{100 \cdot P_5}{(w + 100)}$	Masa total seca extraída del agujero (g)						
$\rho = P_5/V_h$	Densidad húmeda g/cm ³						
$\rho_d = P_6/V_h$	Densidad seca g/cm ³						

AENOR Asociación Española de
Normalización y Certificación

Dirección Fernández de la Hoz, 52
28010 Madrid-España

Teléfono (91) 432 60 00

Telefax (91) 310 36 95

Telegrama AENOR

AENOR AUTORIZA EL USO DE ESTE DOCUMENTO A UNIVERSIDAD POLITECNICA MADRID