

## **Apisonado Proctor modificado**

### **1. OBJETO**

**1.1.** Esta norma tiene por objeto especificar el método para determinar, en un suelo, la relación entre la densidad seca y la humedad, para una energía de compactación por unidad de volumen de  $2,632 \text{ J/cm}^3$ , y definir la densidad seca máxima y su humedad correspondiente, denominada óptima, que se puede conseguir con ese suelo en el laboratorio.

**1.2.** El método está basado en la determinación de las densidades secas de varias probetas, compactadas en idénticas condiciones pero con contenidos de humedad diferentes. Para cada contenido de humedad se alcanza una determinada densidad, de manera que estos pares de valores, representados en coordenadas cartesianas, definen la relación buscada.

### **2. APARATO Y MATERIAL NECESARIO**

**2.1.** Un molde cilíndrico de metal de  $152,5 \text{ mm} \pm 0,7 \text{ mm}$  de diámetro interior y  $127 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$  de altura, lo que equivale aproximadamente a un volumen de  $2320 \text{ cm}^3$ . Debe disponer de un collar del mismo diámetro y altura aproximada de  $60 \text{ mm}$ , para colocarlo en la parte superior del molde durante las operaciones de apisonado. El molde y el collar estarán contruidos de forma que se puedan sujetar firmemente a la base plana metálica desmontable (Fig. 1).

**2.2.** Una maza metálica de  $4,535 \text{ kg} \pm 0,01 \text{ kg}$ , adaptada al interior de una guía tubular, adecuada para que la altura de caída libre sea de  $457 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ . La maza puede ser manual, en cuyo caso debe tener un diámetro de  $50 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$  y la guía disponer, como mínimo, de 4 orificios de  $1 \text{ cm}$  de diámetro, espaciados  $90^\circ$  y a  $2 \text{ cm}$  de cada extremo, para facilitar la salida del aire. La separación entre maza y guía debe ser suficiente para que la caída sea libre. También se puede utilizar una maza automática que distribuya los golpes uniformemente sobre la superficie del material. En este caso, la superficie de contacto de la maza con el suelo podrá ser circular o tener forma de sector,

pero conservando en todo caso, la masa, altura de caída y la superficie de  $19,6 \text{ cm}^2 \pm 0,2 \text{ cm}^2$ ).

**2.3.** Una balanza de  $20 \text{ kg}$ . de capacidad y precisión de  $1 \text{ g}$ . y otra de  $1.000 \text{ g}$ . de capacidad y precisión  $0,1 \text{ g}$ .

**2.4.** Recipientes adecuados para la determinación de la humedad, siguiendo el procedimiento de la norma NLT-102/98.

**2.5.** Una estufa de desecación con temperatura regulable hasta  $115^\circ\text{C}$ .

**2.6.** Una amasadora mecánica adecuada, o instrumentos diversos para amasar manualmente (recipientes, guantes de goma, etc).

**2.7.** Tamices  $50,0 \text{ mm}$ .,  $20,0 \text{ mm}$ . y  $5,0 \text{ mm}$ . Norma UNE 7-050/2.

**2.8.** Un enrasador metálico de borde recto, afilado y resistente, cuya longitud sea superior al diámetro del molde.

**2.9.** Cuarteadores adecuados a los diámetros de las partículas del suelo a ensayar.

**2.10.** Un mazo de goma y una paleta.

**2.11.** Una probeta graduada.

**2.12.** Un extractor de muestras para extraer el material compacto del molde.

### **3. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA**

**3.1.** Si el suelo recibido está excesivamente húmedo, se extiende y se deja secar al aire o en estufa a menos de  $60^\circ\text{C}$ , hasta que la humedad del suelo permita desmenuzarlo con un mazo de goma.

**3.2.** Del suelo secado al aire y desmenuzado, separar con cuarteadores la cantidad necesaria para conseguir unos  $35 \text{ kg}$ . de la fracción que pase por el tamiz de  $20,0 \text{ mm}$ . UNE 7-050. Se de-

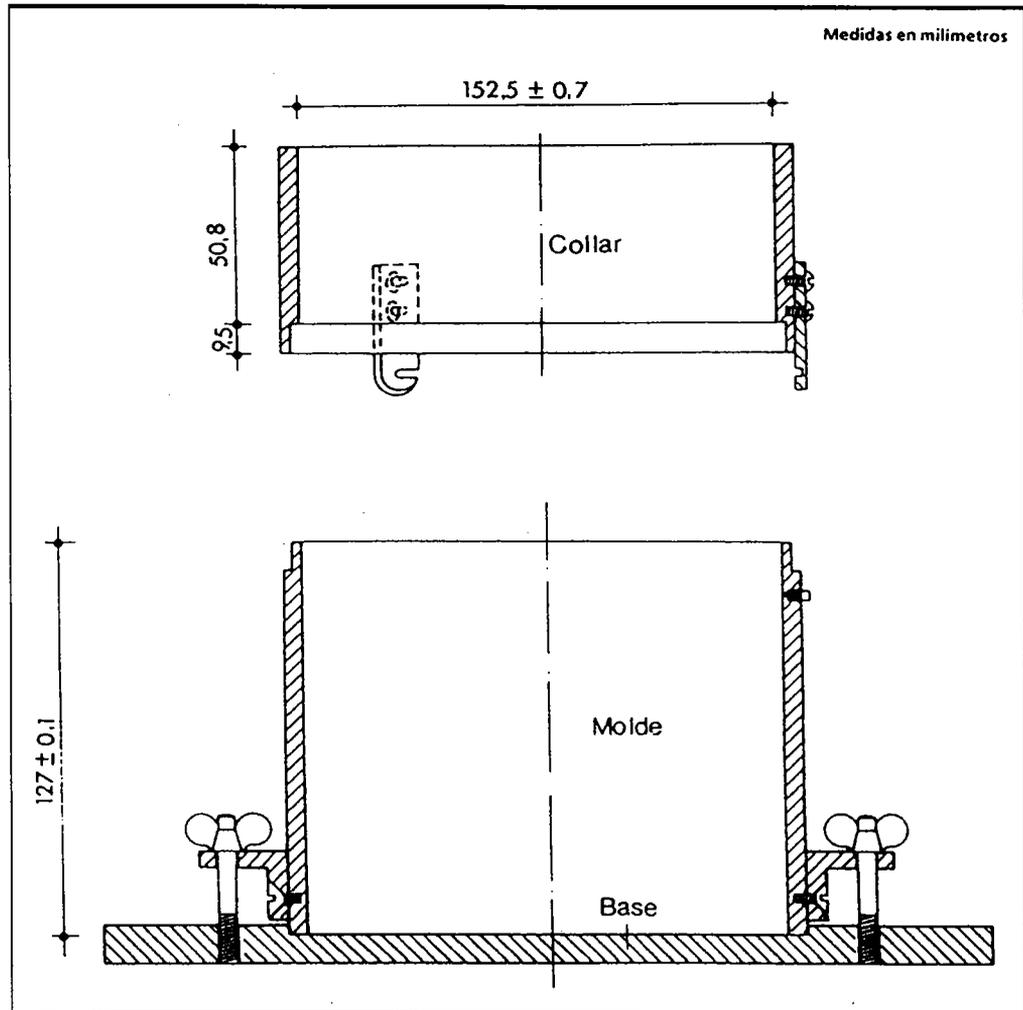


FIGURA 1. Molde Proctor modificado

termina la masa total utilizada, y la fracción retenida en dicho tamiz. Calcular el tanto por ciento de la fracción retenida, respecto del total de la muestra. Si el material retenido en el tamiz de 20,0 mm. UNE 7-050 es superior al 30% de la masa total o contiene partículas superiores a 50 mm., este ensayo no es adecuado para el suelo en cuestión.

3.3. Cuartear la fracción que pasa en porciones de unos 6 kg.

3.4. Si interesa mantener la misma proporción de gruesos que en la muestra original, como puede suceder si se va a realizar el ensayo C.B.R. con sustitución de material, se puede remplazar el material retenido en el tamiz 20,0 mm. Norma UNE 7-050/2 por una cantidad igual de material comprendido entre los tamices 5,0 mm. y 20,0 mm. de la Norma UNE 7-050/2, la cual se obtiene tamizando otra porción del suelo recibido.

#### 4. PROCEDIMIENTO

4.1. Se determina el volumen  $V$  del molde en  $\text{cm}^3$ . Esta operación se debe comprobar periódicamente.

4.2. Se determina la masa del molde con su base y sin el collar superior.

4.3. Se toma una de las porciones de suelo y se mezcla con una determinada cantidad de agua hasta que quede íntima y uniformemente distribuida. Esta operación puede realizarse con amasadora mecánica o a mano, utilizando los guantes de goma.

4.4. Se llena el molde con el collar colocado, mediante la porción de suelo mezclada con agua, repartida en cinco capas aproximadamente iguales, de forma que cada capa, después de compactada, quede con una altura ligeramente

superior a un quinto de la altura del molde. La compactación de cada una de estas capas se realiza por medio de 60 golpes de la maza, distribuidos uniformemente. La última capa compactada debe entrar aproximadamente 1 cm en el collar superior.

**4.5.** Terminada la compactación se retira el collar y se enrasa cuidadosamente el suelo con el borde del molde.

**4.6.** Se determina la masa del conjunto formado por el molde y el suelo compactado.

**4.7.** Se extrae el suelo del molde mediante el extractor; se parte verticalmente por el centro y se toma una cantidad representativa, de masa no inferior a 100 g, para determinar la humedad según la Norma NLT-102/98.

**4.8.** Se repite la operación con nuevas porciones de suelo, pero añadiendo cantidades de agua distintas en cada proceso de amasado, hasta obtener los puntos necesarios para determinar la curva que relaciona la densidad seca con la humedad.

## 5. RESULTADOS

**5.1.** Siguiendo la secuencia de operaciones señaladas en el impreso que se adjunta (véase anexo A), se calcula la densidad seca y la humedad correspondiente a cada determinación efectuada.

En un gráfico que tenga por abscisas los tantos por ciento de humedad y por ordenadas las densidades secas, se sitúan los puntos definidos por los valores calculados. Con estos puntos se dibuja una curva suave. Las coordenadas del máximo de esta curva definen la "densidad seca máxima" y la "humedad óptima" del ensayo.

**NOTA:** Cuando se desea comparar los resultados de este ensayo con los de otros que incluyan el material grueso, es decir, el retenido por el tamiz 20,0 mm Norma UNE 7-050/2, como puede suceder en el ensayo de densidad "in situ", se puede efectuar la corrección oportuna para tener en cuenta el efecto de dicho material grueso.

**5.2.** Representar en el mismo gráfico, si se desea, la curva de saturación o del 0% de aire en los huecos, utilizando para ello la expresión siguiente:

$$Q_d = \frac{Q_s [100 - V_a]}{100 + wQ_s} \cdot Q_w$$

en donde:

$Q_d$  = densidad seca, expresada en  $g/cm^3$

$Q_s$  = densidad de las partículas en  $g/cm^3$

$V_a$  = es el volumen de aire en los huecos del suelo, expresado en forma de porcentaje del volumen total del mismo. En el caso de la curva de saturación  $V_a = 0\%$

$Q_w$  = densidad del agua pura a 4 grados centígrados, igual a  $1 g/cm^3$

$w$  = humedad expresada en tanto por ciento.

Si se desean, pueden representarse otras curvas con distintos porcentajes de aire en los huecos, sustituyendo, por ejemplo  $V_a$  por 5% ó el 10%.

## 6. OBSERVACIONES

**6.1.** Algunos suelos arcillosos presentan gran dificultad para mezclarse íntimamente con el agua de forma rápida. En estos casos puede ser conveniente añadir agua hasta obtener una humedad menor que la definitiva, hacer entonces un primer amasado y dejar la mezcla en reposo durante uno o dos días convenientemente protegida en la cámara húmeda. Transcurrido este período, añadirle el resto del agua y amasar hasta que ésta quede íntima y uniformemente distribuida.

**6.2.** Para la compactación debe colocarse el molde sobre una base suficientemente rígida, para que no amortigüe los golpes. Puede servir para esto, un bloque de hormigón de unos 100 kg.

**6.3.** Puede utilizarse un molde como el descrito en la Norma NLT-111/87, de mayor altura, provisto de un disco espaciador en el fondo, para respetar las dimensiones interiores indicadas.

También se puede utilizar el molde descrito en la Norma NLT-107/98. Ensayo de apisonado Proctor normal (102 mm de diámetro). En tal caso, para mantener la energía por unidad de volumen especificada, se compactada el suelo en cinco capas, aplicando a cada una de ellas 26 golpes con la maza de 4,535 kg y una altura de caída de 457 mm.

**6.4.** Es posible la reutilización del material, es decir, emplear el mismo suelo para obtener varios puntos de la curva de compactación, excepto cuando las partículas sean frágiles o si se trata de arcilla muy plástica. Esta circunstancia debe hacerse constar en el informe.

**6.5.** Generalmente, tres puntos en la rama ascendente y otros dos en la descendente son suficientes

ENSAYO PROCTOR

TRABAJO No.-  
MUESTRA No.-

DENOMINACION.-

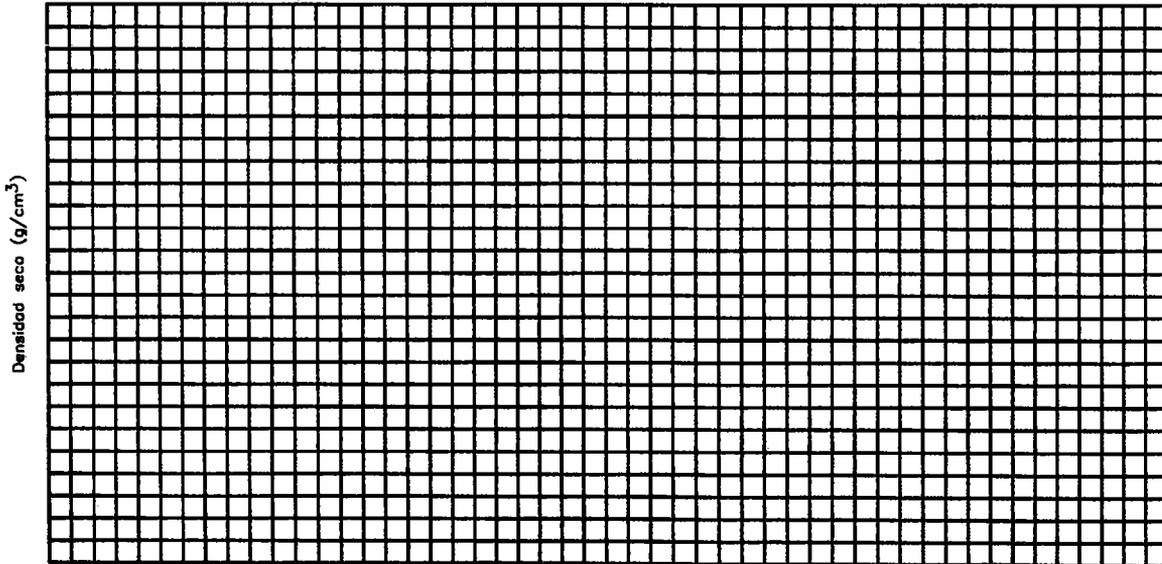
Volumen molde (cm<sup>3</sup>).-  
Masa maza (kg).-  
Altura de caída (cm).-  
Material total utilizado (kg).-  
Material retenido tamiz 20 mm UNE (%).-

No de Capas.-  
No de golpes por capa.-  
Densidad partículas  $\rho_s$  (g/cm<sup>3</sup>).-

seco	---	Punto no					
	---	% Agua añadida					
	t+s+a (g)	Molde+suelo+agua					
	t (g)	Molde					
	s+a=(t+s+a)-t (g)	Suelo+agua					
	$s = \frac{(s+a) * 100}{100 + w}$ (g)	Suelo					
	$\rho_d = \frac{s}{v}$ (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad seca					
Densidad	$\rho_d = \frac{100 \rho_s}{100 + w \rho_s}$ (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad seca Estado saturado					
	---	Referencia tara					
Humedad	t+s+a (g)	Tara+suelo+agua					
	t+s (g)	Tara+suelo					
	t (g)	Tara					
	s=(t+s)-t (g)	Suelo					
	a=(t+s+a)-(t-s) (g)	Agua					
	$w = \frac{a}{s} * 100$ (%)	Humedad					

DENSIDAD SECA MAXIMA  $\rho_{d \max}$  (g/cm<sup>3</sup>) =

HUMEDAD OPTIMA,  $w_{opt}$  (%) =



Descripcion del suelo y observaciones.-

---

para definir la curva. No obstante, se preparará muestra para algún punto más por si fuera necesario. Suele ser recomendable comenzar por la determinación correspondiente a la humedad menor y continuar aumentando ésta en un 1 ó 2% para los suelos no cohesivos y del 2 al 4% para los suelos cohesivos.

## 7. CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

Esta norma se relaciona:

- NLT-108/91. Apisonado Proctor Modificado.
  - UNE 103-500-94. Ensayo de Compactación. Proctor Modificado.
  - ASTM D 1557-91. Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (56.000 ft-lbf/ft<sup>3</sup>) (2.700 kN - m/m<sup>3</sup>).
  - BS 1377: Part 4: 1990.
-