

**Ensayo de apisonado para determinar la humedad óptima y la densidad máxima en las mezclas suelo-cemento**

NLT-301/63

1. OBJETO

- 1.1. Este ensayo tiene por objeto determinar en el laboratorio la relación entre el contenido de humedad y la densidad de mezclas de suelo-cemento, después de compactadas y antes de que se inicie la hidratación del cemento.
- 1.2. Para este ensayo se siguen dos métodos, y el uso de uno y otro depende de la granulometría del suelo.  
*Método A.*—Empleando material que pasa por el tamiz núm. 4. Usado cuando el 100 % del suelo pasa por el tamiz núm. 4.  
*Método B.*—Empleando material que pasa por el tamiz 3/4 de pulgada. Usado cuando parte del suelo es retenido sobre el tamiz número 4.

2. APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS

- 2.1. Un molde cilíndrico de un litro de capacidad (10, 20 cm. de diámetro interno y 12,24 cm. de altura) con base y collar.
- 2.2. Una maza de 2,5 kg. de peso y 5 cm. aproximadamente de diámetro y una altura de caída controlada de 30,5 cm.
- 2.3. Una balanza de 10 kg. de capacidad, sensible al gramo, y otra de 200 gr. de capacidad, sensible a 0,01 gr.
- 2.4. Una estufa de desecación regulable a 105-110° C.
- 2.5. Una espátula para enrasar de unos 30 cm. de longitud con hoja bien recta y resistente.
- 2.6. Una amasadora mecánica o recipiente y guantes de goma para amasar a mano y una probeta graduada de unos 250 cc.
- 2.7. Un recipiente redondo de fondo plano de 30 cm. de diámetro y 5 centímetros de altura.
- 2.8. Cápsulas o pesafiltros para determinar humedades.
- 2.9. Tres tamices: de 3 pulgadas, de 3/4 de pulgada y núm. 4, de la serie A. S. T. M.

3. METODO A.—PROCEDIMIENTO

- 3.1. Preparación de la muestra.

3.1.1. Preparar la muestra de suelo pulverizándola hasta que todo el material pase por el tamiz núm. 4.

Si es preciso, dejar secar la muestra hasta que pueda ser pulverizada fácilmente.

El secado se hace al aire libre o por medio de estufa u otros aparatos de secado, siempre que la temperatura de secado no exceda de 60° C.

3.1.2. Dividir por cuarteo el material así obtenido en siete porciones, aproximadamente iguales, de unos 3 kg.

### 3.2. Ejecución del ensayo.

3.2.1. Se tara y anota el peso del molde con la base y sin el collar superior.

3.2.2. Se toma de una de las porciones obtenidas en el 3.1.2 y se mezcla con el cemento hasta color uniforme. Cuando la mezcla tenga un contenido de humedad muy bajo, hay que añadir agua potable para aproximarse al contenido óptimo de humedad, mezclando el agua hasta que quede íntima y uniformemente distribuida.

Cuando el suelo sea una arcilla plástica, después de mezclada y amasada con el cemento y el agua, se compacta en el recipiente descrito en 2.7, usando la maza. Se cubre y se deja en reposo por un período mínimo de cinco minutos y no mayor de diez minutos, para ayudar a la dispersión de la humedad y permitir una completa absorción del agua por la mezcla de suelo-cemento. Después se desmenuzará la mezcla con la mano hasta que, visiblemente, pase toda ella por el tamiz núm. 4.

3.2.3. Compactar la muestra en el molde con el collar en tres capas, aproximadamente iguales, compactando cada una de las capas con 25 golpes de maza, repartiendo uniformemente los golpes por toda la superficie de la capa y desde la altura de 30,5 cm.

La última tongada compactada entrará unos 2 cm. en el collar de enrase.

3.2.4. Después de lleno y compactado el molde, se quita el collar y con la espátula se enrasa perfectamente.

3.2.5. Se determina y anota el peso del conjunto correspondiente al molde más el suelo-cemento y agua.

3.2.6. Sacar la probeta compactada del molde, bien abriendo éste si el molde es desmontable, o con un extractor de muestras si no lo es, y cortarla en sentido vertical por la mitad. Tomar del centro una muestra representativa de unos 100 gr. de peso, colocarla en una cápsula tarada y determinar la humedad de la mezcla, secándola en estufa a 105-110° C., hasta peso constante.

3.2.7. Se repite la operación con nuevas porciones de suelo de las obtenidas en 3.1.2 y contenidos de agua crecientes, hasta obtener los puntos necesarios para determinar la curva que relaciona las densidades en seco con los tantos por ciento de humedad.

#### 4. METODO B.—PROCEDIMIENTO

##### 4.1. Preparación de la muestra.

- 4.1.1. Preparar la muestra de suelo pulverizándola y tamizar por el tamiz núm. 4.

Si es preciso, dejar secar la muestra hasta que pueda ser pulverizada fácilmente.

El secado se hace al aire libre o por medio de estufa u otros aparatos de secado, siempre que la temperatura de secado no exceda de 60° C.

- 4.1.2. El suelo retenido en el tamiz núm. 4 se tamiza por el de 3 pulgadas y 3/4 de pulgada.

Se desecha el material retenido en el tamiz de 3 pulgadas. Se pesa el material que pasa por el tamiz de 3 pulgadas y retiene el de 3/4 de pulgada, y se sustituye por una fracción igual en peso de material que pasa por el tamiz de 3/4 de pulgada y retiene el núm. 4, la cual se agrega a la fracción originaria, comprendida entre estos dos mismos tamices. De manera que el peso del suelo comprendido entre el tamiz de 3/4 de pulgada y núm. 4 sea igual al comprendido entre el tamiz de 3 pulgadas y núm. 4.

- 4.1.3. Pesar y mantener separada la fracción que pasa por el tamiz número 4 y la comprendida entre el 3/4 de pulgada y núm. 4.

- 4.1.4. Poner el árido que pasa por el tamiz de 3/4 de pulgada y retiene el núm. 4 en condiciones de saturado superficie seca.

- 4.1.5. Dividir por cuarteo el material que pasa por el tamiz núm. 4 en siete porciones, aproximadamente iguales, de unos 2,5 kilogramos.

##### 4.2. Ejecución del ensayo.

- 4.2.1. Se toma una de las porciones obtenidas en el 4.1.5. y se mezcla con el cemento, hasta color uniforme.

Cuando la mezcla tenga un contenido de humedad muy bajo, hay que añadir agua potable para aproximarse al contenido óptimo de humedad, mezclando el agua hasta que quede íntima y uniformemente distribuida.

Cuando el suelo sea una arcilla plástica, después de mezclado y amasado con el cemento y el agua, se compacta en el recipiente descrito en 2.7., usando la maza. Se cubre y se deja en reposo por un período mínimo de cinco minutos y no mayor de diez minutos, para ayudar a la dispersión de la humedad y permitir una completa absorción del agua por el suelo-cemento. Después se desmenuzará la mezcla con la mano hasta que visiblemente pase toda ella por el tamiz número 4. Después de esta preparación, añadir el árido que pasa por el tamiz de 3/4 de pulgada y retiene el núm. 4. Saturado superficie seca, en el porcentaje correspondiente en peso.

- 4.2.2. Seguir el procedimiento indicado en los apartados 3.2.3., 3.2.4., 3.2.5., 3.2.6. y 3.2.7. de esta Norma.

## 5. RESULTADOS

5.1. Siguiendo las indicaciones del impreso que se adjunta, se calcula la densidad seca y la humedad correspondiente a cada molde.

Se dibuja la curva que relaciona las densidades del suelo seco con las humedades correspondientes. El máximo de esta curva dará la densidad máxima y el tanto por ciento de humedad correspondiente será la humedad óptima.

## 6. OBSERVACIONES

6.1. En lugar del molde de las dimensiones indicadas en el apartado 2.1. de esta Norma, se pueden utilizar para el ensayo moldes de otras dimensiones, siempre que se conserve la misma energía de compactación por unidad de volumen.

$$E = \frac{2,5 \times 30,5 \times 25 \times 3}{1.000} = 5,72 \frac{\text{kg.} \times \text{cm.}}{\text{cm.}^3}$$

6.2. Durante la compactación debe colocarse el molde sobre una base suficientemente rígida para que no amortigüe los golpes.

6.3. Generalmente, cinco puntos son suficientes para definir la curva densidad-humedad; no obstante, se prepara la muestra para siete puntos, por si fuera necesario algún punto más.

La distancia entre puntos debe ser de un 1 % o un 3 % de agua, según sea el tipo de suelo arenoso o arcilloso, respectivamente. Para determinar el primer punto, se añade agua hasta un valor anterior y convenientemente próximo a la humedad óptima. La práctica enseñará a conocer este punto por el aspecto del suelo; a partir de este punto se obtienen los sucesivos, aumentando progresivamente el agua en la proporción conveniente. Se puede saber «a priori», aproximadamente, sin determinar la densidad, cuándo se llega a la rama descendente de la curva humedad-densidad; porque al aumentar el contenido de agua, decrece el peso húmedo del suelo-cemento.

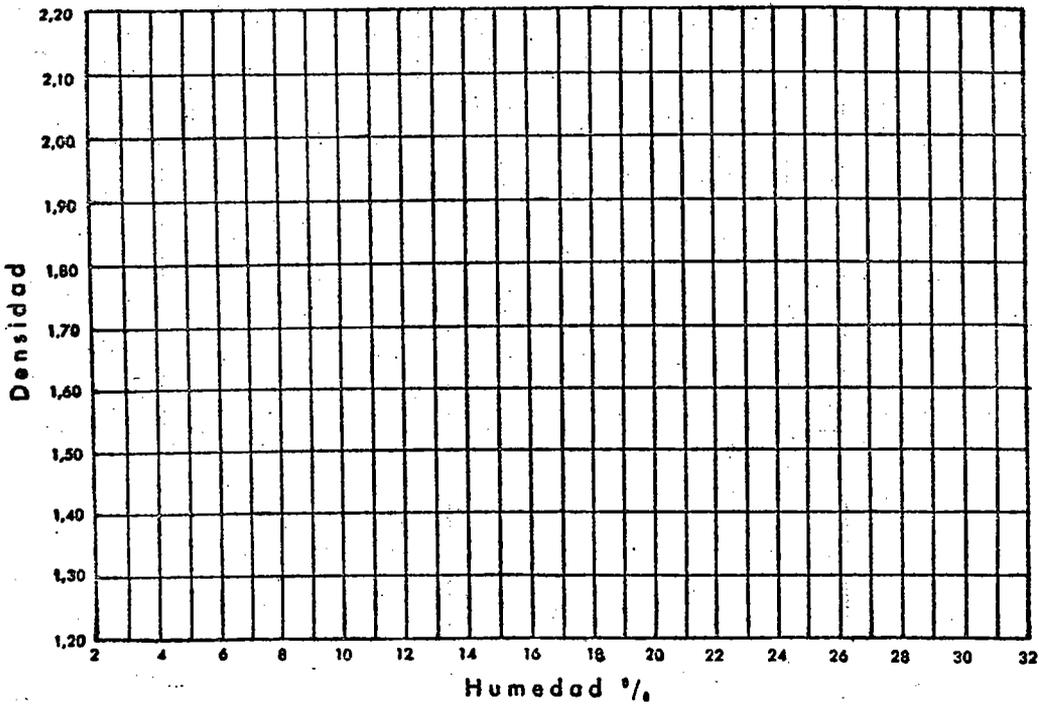
TRABAJO N.º ..... DENOMINACION: ..... MUESTRA N.º .....

### ENSAYO DE APISONADO

Tipo de ensayo: .....

Densidad máxima: .....

Humedad óptima: .....



Molde: .....

Maza: .....

Altura de caída: .....

N.º de capas: .....

N.º de golpes por capa: .....

Material utilizado: .....

% de material grueso (1): .....

Peso específico del material grueso .....

(1) Se denomina material grueso al no utilizado.

Descripción del suelo y observaciones: .....

.....

.....

.....

Revisado

Operador

Fecha

Humedad				Densidad			
—	Referencia tara			—	Punto n.º		
$a = (t+s+a) - (t+s)$	Agua			—	% Agua absorbida		
t+s+a	Tara + suelo + agua			t+s+a	Molde + suelo + agua		
t+s	Tara + suelo			s	Molde		
s	Tara			$s+a = (t+s+a) - t$	Suelo + agua		
$s = (t+s) - t$	Suelo			$s = \frac{(s+a) \cdot 100}{100 + h}$	Suelo		
$h = \frac{s}{a} \times 100$	Humedad			$D = \frac{a}{V}$	Densidad		

Observaciones: .....