

## **Congelación-deshielo de probetas de suelo-cemento**

### **1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACION**

1.1 Este ensayo tiene por objeto determinar la pérdida de suelo-cemento, cambios de humedad y cambios de volumen (hinchamiento y retracción) producidos por repetidas congelaciones y deshielos de muestras de suelo-cemento moldeadas y compactadas.

1.2 Para este ensayo se siguen dos métodos, y el uso de uno u otro depende de la granulometría del suelo.

**Método A.** Empleando material que pasa por el tamiz 5 UNE (ASTM núm. 4) y usado cuando el 100 % del suelo pasa por dicho tamiz.

**Método B.** Empleando material que pasa por el tamiz 20 UNE (ASTM 3/4 pulgada) y usado cuando parte del suelo es retenido en el tamiz 5 UNE.

1.3 Esta norma tiene aplicación en las mezclas suelo-cemento utilizadas en construcción de carreteras.

### **2 APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS**

2.1 Un molde cilíndrico de un litro de capacidad (102 mm de diámetro por 122,4 mm de altura), con base y collar.

2.2 Una maza de compactación de 2,5 kg y 50 mm aproximadamente de diámetro, provista de un tubo guía que controle la caída desde una altura de 305 mm, accionada a mano o mediante un compactador mecánico calibrado con arreglo a la norma NLT-107.

2.3 Un extractor de muestras del molde.

2.4 Dos balanzas: una de 10 kg de capacidad, sensible al gramo, y otra de 1.000 g de capacidad, sensible a 0,1 g.

2.5 Una estufa de desecación, regulable, capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5$  °C.

2.6 Un frigorífico capaz de mantener temperaturas (-23 °C) o más bajas.

2.7 Una cámara húmeda capaz de mantener una

temperatura de  $21 \pm 2$  °C y una humedad relativa del 100 % durante los días de cura de las probetas.

2.8 Un cepillo de alambres de 5 cm, aproximadamente, de longitud y 0,15 cm de diámetro. Hecho con 50 grupos de 10 cerdas cada grupo, colocadas en cinco filas de 10 grupos, sobre un mango de madera de  $19 \times 6,3$  cm.

2.9 Una espátula de unos 300 mm de longitud, sesgado uno de sus filos.

2.10 Tamices: 80 UNE (ASTM 3 pulgadas), 20 UNE (ASTM 3/4 pulgada) y 5 UNE (ASTM núm. 4).

2.11 Un recipiente mezclador y una paleta para mezclas.

2.12 Un cuchillo de carnicero, de hoja fuerte y bien recta.

2.13 Un tenedor como los de coger hielo, o aparato similar, para escarificar las capas compactadas antes de echar la siguiente.

2.14 Un recipiente de aproximadamente 300 mm de diámetro y 50 mm de altura para la absorción de humedad de las mezclas suelo-cemento.

2.15 Un calibre para medir las alturas y diámetro de las probetas con una aproximación de 0,2 mm.

2.16 Bandejas para contener y transportar las muestras.

2.17 Una probeta de cristal graduada de 250 cm<sup>3</sup> de capacidad para medir agua.

2.18 Cápsulas y pesafiltros para determinar la humedad de las muestras.

### **3 METODO A: PROCEDIMIENTO**

#### **3.1 Preparación de la muestra**

3.1.1 Preparar la muestra de suelo, desmenuzándola hasta que todo el material pase por el tamiz 5 UNE. Si es preciso, dejar secar la muestra hasta que pueda ser pulverizada fácilmente. El secado se hace al aire o por medio de estufa u otros aparatos

de secado, siempre que la temperatura no exceda de 60 °C.

**3.1.2** Dividir por cuarteo el material así obtenido en 8 ó 9 porciones de unos 3 kg cada una.

### 3.2 Ejecución del ensayo

**3.2.1** Tomar del suelo preparado en 3.1.2, de este procedimiento, las porciones necesarias y determinar la densidad máxima y humedad óptima de la mezcla suelo-cemento a ensayar, conforme a las especificaciones descritas en el ensayo de apisonado para determinar la relación densidad-humedad. Método A (NLT-301).

**3.2.2** Una vez determinada la curva humedad-densidad, tomar dos porciones de suelo, preparadas según el apartado 3.1.2 de este procedimiento, determinar la humedad, y con este dato el suelo seco correspondiente.

**3.2.3** Añadir después a dichas porciones la cantidad calculada de cemento respecto al suelo seco y mezclarlo completamente hasta color uniforme.

**3.2.4** A la mezcla suelo-cemento, cuya humedad se conoce según el apartado anterior 3.2.2, añadir por diferencia la cantidad suficiente de agua potable hasta la humedad óptima y mezclar íntimamente.

Cuando el suelo sea una arcilla pesada, compactar la mezcla suelo-cemento-agua en el recipiente descrito en el apartado 2.14 de esta norma, hasta una altura de, aproximadamente, 50 mm, usando la maza, taparlo y dejarlo en reposo durante un período no menor de 5 minutos ni mayor de 10, para permitir que, por absorción, se reparta la humedad por toda la mezcla.

Después de este período de absorción, romper la mezcla compactada hasta que, visiblemente, se comprenda que todas las partículas pasan por el tamiz 5 UNE y mezclar.

**3.2.5 Moldeo de las muestras.** Una vez mezclada nuevamente la muestra, compactar inmediatamente una probeta en el molde en tres capas y 30 golpes por capa con la maza de 2,5 kg, repartiendo los golpes por toda la superficie y escarificando cada una de las capas antes de añadirle la siguiente, para lo cual se remueve la parte superficial de la capa, haciendo cavidades de una a otra parte en sentido recto de aproximadamente 3 mm de ancho y 3 mm de profundidad y separadas unas de otras unos 6 mm.

Durante la compactación, tomar una muestra representativa de uno 100 g, pesarla inmediatamente y

secarla, dentro de una cápsula, en estufa a 110 °C por un período mínimo de 12 horas o hasta peso constante y calcular el tanto por ciento de humedad de la mezcla para contrastarla con el contenido de humedad designado para la ejecución del ensayo, entre los cuales sólo se permite un  $\pm 1\%$  de error.

**3.2.6** Quitar el collar del molde, enrasar, sacar la probeta compactada y determinar la densidad seca, para contrastarla con la designada. Los límites de error permitidos en este caso son de  $\pm 5,5$  g/dm<sup>3</sup>.

**3.2.7** Identificar la muestra, marcándola con el número 1, y usarla para obtener los datos de cambio de humedad y volumen durante el ensayo.

**3.2.8** Compactar una segunda probeta tan rápidamente como sea posible y determinar, como en la primera, el porcentaje de humedad y la densidad seca, como se describe en los anteriores apartados 3.2.5 y 3.2.6 e identificar esta muestra con el número 2, la cual será usada para obtener los datos de cálculo para la pérdida de suelo-cemento durante el ensayo.

**3.2.9** Medir el diámetro y la altura de la muestra número 1 y calcular su volumen.

**3.2.10** Colocar ambas muestras en una bandeja, en la cámara húmeda, por un período de 7 días. Pesarse y volver a medir la muestra número 1 al final de estos 7 días de cura en cámara húmeda y calcular su humedad y volumen.

**Nota 1.** Todas las medidas deben ser tomadas con una aproximación de 0,3 mm y tomadas siempre sobre los mismos puntos.

**3.2.11** Inmediatamente después de los 7 días de cura en cámara húmeda, colocar un fieltro de unos 6 mm de espesor u otro material absorbente, saturado de agua, entre la muestra y la bandeja y colocar el conjunto en una cámara frigorífica que tenga una temperatura constante mínima de -23 °C, y tenerla en estas condiciones durante 24 horas. Transcurrido dicho período, sacar las muestras y medir en la muestra número 1 el cambio de volumen y humedad.

**3.2.12** Colocar la bandeja con las muestras en la cámara húmeda o, en su defecto, en un recipiente cerrado que tenga una temperatura de 21 °C y una humedad relativa de un 100 %, durante 23 horas, y sacarlas. Debajo del fieltro sobre el que están las muestras habrá agua, una fina capa de agua, que permita a las muestras absorberla por capilaridad durante el período de deshielo. Pesarse y medir la muestra número 1. Y cepillar la muestra número 2 con el cepillo de alambres como sigue: se cogerá el cepillo de manera que quede paralelo a la superficie a cepillar y se cepilla ejerciendo una fuerza aproximada de 15

N. De 18 a 20 golpes de cepillo hacen falta para cepillar la muestra en su superficie circular y cuatro para cada una de las superficies planas de los extremos.

**Nota 2.** La presión indicada se comprueba de la siguiente forma: colocar la muestra sobre el platillo de una balanza y aplicar el cepillo sobre ella hasta que la balanza registre 1,5 kg aproximadamente; entonces, cepillar.

**3.2.13** Las fases de este ensayo descritas en 3.2.11 y 3.2.12 constituyen un ciclo de 48 horas de hielo-deshielo. Volver a meter las muestras en la cámara frigorífica y continuar el procedimiento durante 12 ciclos.

**Nota 3.** Determinar el peso de la muestra número 2 antes y después del cepillado en cada ciclo; se hace usualmente en caso de investigación. Algunas muestras hechas de limo o arcilla tienden a desconcharse, particularmente alrededor del sexto ciclo de ensayo. Las películas que se desprenden deben quitarse a veces con un instrumento punzante, tal como el descrito en 2.13, en lugar del cepillo, el cual puede no ser efectivo.

**3.2.14** Después de los 12 ciclos de ensayo, secar la muestra a 110 °C y pesarla.

**3.2.15** Los datos tomados durante los 12 ciclos nos permitirán determinar los cambios de humedad y volumen experimentados en la muestra número 1 y la pérdida de suelo-cemento de la muestra 2.

## 4 METODO B: PROCEDIMIENTO

### 4.1 Preparación de la muestra

**4.1.1** Preparar la muestra de suelo, desterronándola, y tamizar por el tamiz 5 UNE. Si es preciso, dejar secar la muestra hasta que pueda ser pulverizada fácilmente.

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

**4.1.2** El suelo retenido en el tamiz 5 UNE se tamiza por el 80 UNE y 20 UNE.

Se desecha el material que retiene el tamiz 80 UNE.

Se pesa el material, que pasa por el tamiz 80 UNE y retiene el 20 UNE, y se sustituye por una fracción igual en peso de material que pasa por el tamiz 20 UNE y retiene el 5 UNE.

**4.1.3** Pesar y mantener separadas la fracción que pasa por el tamiz 5 UNE y la comprendida entre el 20 y 5 UNE.

**4.1.4** Poner el árido que pasa por el tamiz 20 UNE y retiene el 5 UNE en condiciones de saturado superficie seca.

### 4.2 Ejecución del ensayo

**4.2.1** Del suelo preparado como se indica en la anterior sección 4.1 se toma por cuarteo el material necesario para la determinación de la densidad máxima y humedad óptima, se mezcla con cemento y se procede conforme al ensayo de apisonado. Método B (NLT-301).

**4.2.2** Una vez determinada la curva humedad-densidad, seleccionar y mantener separadas cantidades suficientes de suelo que pasa por el tamiz 5 UNE y de suelo que pasa por el tamiz 20 UNE y retiene el 5 UNE; esta última saturada superficie seca, en sus justas proporciones para formar dos probetas para el ensayo.

**4.2.3** Determinar la humedad de la fracción que pasa por el tamiz 5 UNE y con este dato el suelo seco correspondiente.

**4.2.4** Añadir a la fracción que pasa por el tamiz 5 UNE la cantidad de cemento calculada, y mezclarlo completamente hasta color uniforme.

**4.2.5** A la mezcla de suelo que pasa por el tamiz 5 UNE y cemento, cuya humedad se conoce según el apartado 4.2.3, añadir, por diferencia, la cantidad suficiente de agua potable para la humedad óptima y mezclar íntimamente.

Cuando el suelo sea una arcilla pesada, proceder como para este caso se describe en la sección 3 de esta norma de ensayo, apartado 3.2.4.

**4.2.6** Después de mezclada nuevamente la muestra, añadir el porcentaje correspondiente de material comprendido entre los tamices 20 y 5 UNE saturado superficie seca y mezclar.

**4.2.7 Moldeo de las probetas.** La mezcla así preparada se compacta inmediatamente en el molde y se procede de igual forma que en el método A, sección 3 de este ensayo, apartados 3.2.5 al 3.2.14, ambos inclusive.

## 5 CALCULOS Y RESULTADOS

**5.1** Calcular las diferencias de volumen de la muestra número 1 durante el ensayo, con relación al original, y dar estas diferencias en porcentajes del volumen original.

**5.2** Calcular el contenido de humedad de la muestra número 1 cuando fue moldeada y los cambios subsiguientes durante el ensayo y darlo como porcentaje al peso seco original de la muestra.

5.3 Corregir del peso seco de la muestra número 2, obtenido conforme al apartado 3.2.14 de esta norma, el agua que ha reaccionado con el cemento y el suelo durante el ensayo y es retenido en la muestra a 100 °C, como sigue:

$$\text{Peso seco corregido} = \frac{A}{B} \times 100$$

donde:

A = Peso seco de la muestra después de seca a 110 °C.

B = Porcentaje de agua retenida en la muestra más 100.

El porcentaje de agua retenida en la muestra número 2, después de seca a 110 °C, para la fórmula anterior, debe presumirse igual al agua retenida en la muestra número 1. Por ello, cuando la muestra número 1 no es moldeada, como porcentaje de agua retenida debe tomarse el valor promedio dado en la tabla 1.

5.4 Calcular la pérdida de suelo-cemento de la muestra número 2, como porcentaje al peso seco original de la muestra, como sigue:

$$\text{Pérdida de suelo-cemento \%} = \frac{A}{B} \times 100$$

donde:

A = Peso original de la muestra menos peso final corregido.

B = Peso seco original.

## 6 INFORME

6.1 En el informe se incluyen los siguientes datos:

6.1.1 La densidad máxima y humedad óptima que deben tener las muestras moldeadas.

6.1.2 La densidad y humedad obtenida en las muestras moldeadas.

6.1.3 El porcentaje en cemento contenido en las muestras.

CLASIFICACION AASHO DEL SUELO	PROMEDIO DE AGUA RETENIDA DESPUES DE SECADA A 110 °C %
A-1 A-3	1,5
A-2	2,5
A-4 A-5	3,0
A-6 A-7	3,5

TABLA 1. Valores promedios.

6.1.4 El cambio de humedad y volumen máximos obtenidos a partir de la muestra número 1.

6.1.5 La pérdida en tanto por ciento de suelo-cemento obtenida del ensayo de la muestra número 2

## 7 OBSERVACIONES

7.1 Durante la compactación debe colocarse el molde sobre una base sólida o bancada de hormigón, que no pese menos de 90 kg para que no amortigüe los golpes.

7.2 Si no fuera posible llevar con normalidad los ciclos de hielo-deshielo por caer entre ellos domingos, días de fiesta o cualquier otra razón, tener la muestra en la cámara frigorífica durante la parada provisional.

## 8 CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

ASTM D 560-57 (1965) «Methods for Freezing-and-Thawing Test of Compacted Soil-Cement Mixtures».

## 9 NORMAS PARA CONSULTA

NLT-107 «Apisonado Proctor».

NLT-301 «Densidad máxima y humedad óptima de las mezclas suelo-cemento, mediante apisonado con maza».