

Densidad máxima y humedad óptima de las mezclas de suelo-cemento, mediante apisonado con maza

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACION

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 u otro depende de la granulometría del suelo.

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

Método B. Empleando material que pasa por el tamiz 20 UNE (ASTM 3/4 de pulgada). Usado cuando parte del suelo es retenido sobre el tamiz 5 UNE (ASTM núm. 4).

1.3 Esta norma es aplicable a las mezclas suelo-cemento utilizadas en construcción de carreteras.

2 APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS

2.1 Un molde cilíndrico de 1 litro de capacidad (102 mm de diámetro interno y 122 mm de altura) con base y collar.

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

2.3 Una balanza de 10 kg de capacidad, sensible al gramo y otra de 200 g de capacidad, sensible a 0,01 g.

2.4 Una estufa de desecación regulable a 105-110 °C.

2.5 Una espátula para enrasar, de unos 300 mm 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 cm.

2.7 Una bandeja cuadrada de 300 mm aproximadamente de lado y 50 mm de altura.

2.8 Cápsulas o pesafiltros para determinar humedades.

2.9. Tres tamices: 80 UNE (ASTM 3 pulgadas), 20 UNE (ASTM 3/4 pulgada) y 5 UNE (ASTM núm. 4).

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 5 UNE.

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 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 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 5 minutos y no mayor de 10 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 5 UNE.

3.2.3 Compactar la muestra en el molde con el collar en tres capas, aproximadamente iguales, compactando cada una de las capas con 26 golpes de maza, repartiendo uniformemente los golpes por toda la superficie de la capa y desde la altura de 305 mm. La última tongada compactada entrará unos 10 mm 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 y cortarla en sentido vertical por la mitad. Tomar del centro una muestra representativa de unos 100 g, 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 5 UNE.

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 5 UNE se tamiza por el 80 UNE y el 20 UNE.

Se desecha el material retenido en el tamiz 80 UNE, se pesa el material que pasa por dicho tamiz 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 tamiz 5 UNE, 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 20 UNE y 5 UNE sea igual al comprendido entre el tamiz 80 UNE y 5 UNE.

4.1.3 Pesar y mantener separada la fracción que pasa por el tamiz 5 UNE y la comprendida entre los tamices 20 y 5 UNE.

4.1.4 Poner el árido retenido entre los tamices 20 y 5 UNE en condiciones de saturado superficie seca.

4.1.5 Dividir por cuarteo el material que pasa por el tamiz 5 UNE en siete porciones, aproximadamente iguales, de unos 2,5 kg.

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 5 minutos y no mayor de 10 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 5 UNE. Después de esta preparación, añadir el árido preparado en 4.1.4 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. Al seguir el apartado 3.2.4 se quitarán las partículas que sobresalgan de la superficie y los huecos o irregularidades se corregirán con material fino puesto y compactado con ayuda de la espátula. Respecto al apartado 3.2.6, se tomarán 500 g de muestra en vez de 100.

5 RESULTADOS

5.1 Siguiendo las indicaciones del impreso que se adjunta en la NLT-107, 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:

$$E = \frac{2,5 \times 30,5 \times 26 \times 3}{1.000} = 5,95 \frac{\text{kg} \times \text{cm}}{\text{cm}^3}$$

6.2 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.

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; en los suelos no plásticos y en los suelos plásticos, el primer punto puede estimarse por el menor contenido de agua necesario para que el suelo quede unido mediante la presión ejercida apretando la palma de la mano cerrada sobre una porción de la mezcla húmeda; 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.

7 CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

ASTM D 558-57 (Revalidada 1976). «Test Method for Moisture-Density Relations of Soil-Cement Mixtures».

8 NORMA PARA CONSULTA

NLT-107 «Aplonado Proctor».