

**Ensayo de humedad-sequedad de probetas
de suelo-cemento**

NLT-302/63

1. OBJETO

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 y alternativas inmersiones en agua y secados en estufa 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 núm. 4 A. S. T. M. y usado cuando el cien por cien del suelo pasa por dicho tamiz.

Método B.—Empleando material que pasa por el tamiz de 3/4 de pulgada y usado cuando parte del suelo es retenido en el tamiz número 4 A. S. T. M.

2. APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS

2.1. Un molde cilíndrico de un litro de capacidad (10,20 cm. de diámetro por 12,24 cm. de altura), con base y collar.

2.2. Una maza de compactación de 2,5 kg. de peso y 5,0 cm., aproximadamente, de diámetro, provista de un tubo guía que controle la caída desde una altura de 30,5 cm.

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 gr. de capacidad, sensible a 0,1 gr.

2.5. Una estufa de desecación, regulable, capaz de mantener una temperatura de $71 \pm 3^{\circ}\text{C}$.

2.6. Una cámara húmeda capaz de mantener una temperatura de $21 \pm 2^{\circ}\text{C}$. y una humedad relativa del 100 por 100 durante los días de cura de las probetas.

2.7. Un baño de agua para sumergir 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 por 6,35 cm.

- 2.9. Una espátula de unos 30 cm. de longitud, sesgado uno de sus filos.
- 2.10. Tamices de 3 pulg., 3/4 de pulgada y núm. 4 A. S. T. M.
- 2.11. Un recipiente mezclador y una paleta para mezclas.
- 2.12. Un cuchillo de carnicero, de hoja fuerte y bien recta, para cortar las muestras.
- 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 30 cm. de diámetro y 5 cm. de altura para la absorción de humedad de las mezclas suelo-cemento
- 2.15. Un calibre para medir las alturas y diámetros de las probetas con una aproximación de 0,2 cm.
- 2.16. Bandejas para contener y transportar las muestras.
- 2.17. Una probeta de cristal graduada de 250 cc. 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 unos 25 kg. de muestra de suelo, desmenuzándola 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 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 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-301/63).
 - 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, 5 cm. usando la maza, taparlo y dejarlo en reposo durante un período no menor de cinco minutos ni mayor de diez, 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 núm. 4 y mezclar.

- 3.2.5. *Moldeo de las muestras.*—Una vez mezclada nuevamente la muestra, compactar inmediatamente una probeta en el molde en 3 capas y 25 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 añadir la siguiente, para lo cual se remueve la parte superficial de cada capa, haciendo surcos con el tenedor de una a otra parte en sentido recto de unos 3 mm. de ancho y 3 mm. de profundidad, y separados unos 6 mm. unos de otros.

Durante la compactación tomar una muestra representativa de unos 100 gr., pesarla inmediatamente y secarla, dentro de una cápsula, en una estufa a 110° C, por un período mínimo de doce 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 su densidad seca para contrastarla con la designada. Los límites de error permitidos en este caso son de $\pm 5,5$ gr./decímetro cúbico.
- 3.2.7. Identificar la muestra, marcándola con el núm. 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 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 núm. 1, y calcular su volumen.
- 3.2.10. Colocar ambas muestras en una bandeja, en la cámara húmeda, por un período de siete días. Pesar y volver a medir la muestra núm. 1 al final de estos siete días de cura en cámara húmeda y calcular su humedad y volumen.

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

- 3.2.11. Inmediatamente después de los siete días de cura en cámara húmeda, se sumergen las muestras en agua a la temperatura ambiente por un período de cinco horas, al cabo de las cuales se sacan y se pesa y mide la núm. 1, anotando el cambio de humedad y volumen de la muestra.

- 3.2.12. Colocar las dos muestras en estufa a $71 \pm 3^\circ \text{C}$. durante cuarenta y dos horas y sacarlas. Pesar y medir la núm. 1. Y, para calcular la pérdida de suelo-cemento cepillar toda el área de la muestra número 2 con el cepillo de alambres de la siguiente forma:

Se cogerá el cepillo de manera que quede paralelo a la superficie a cepillar y se cepilla ejerciendo una determinada presión. 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.—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. de fuerza; entonces, cepillar.

- 3.2.13. Las fases de este ensayo, descritas en 3.2.11 y 3.2.12, constituyen un ciclo de cuarenta y ocho horas de humedad-sequedad. Volver a sumergir las muestras en agua y repetirlo durante 12 veces.
- 3.2.14. Después de los 12 ciclos de ensayo, secar las muestras a 110°C . y pesarlas.
- 3.2.15. Los datos tomados durante los 12 ciclos nos permitirán determinar los cambios de humedad y volumen experimentados en la muestra núm. 1, y la pérdida de suelo-cemento, de la muestra núm. 2.

4. METODO B.—PROCEDIMIENTO

4.1. Preparación de la muestra.

- 4.1.1. Preparar la muestra de suelo, desmenuzándola, y tamizar por el tamiz núm. 4 A. S. T. M. 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 de secado no exceda de 60°C .

- 4.1.2. El suelo retenido en el tamiz núm. 4 A. S. T. M. se tamiza por el de 3 pulg. y $3/4$ de pulg.

Se desecha el material retenido en el tamiz de 3 pulg.

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

- 4.1.3. Pesar y mantener separadas la fracción que pasa por el tamiz núm. 4 y la comprendida entre el $3/4$ y núm. 4.

- 4.1.4. Poner el árido que pasa por el tamiz de $3/4$ y retiene el número 4 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 a las especificaciones descritas en el ensayo de apisonado para determinar la relación humedad-densidad. Método B (NLT-301/63).
- 4.2.2. Una vez determinada la curva humedad-densidad, seleccionar y mantener separadas cantidades suficientes de suelo que pase por el tamiz núm. 4 y de suelo que pase por el tamiz 3/4 y retiene el núm. 4, este último saturado 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 número 4 y con este dato el suelo seco correspondiente.
- 4.2.4. Añadir a la fracción que pasa por el tamiz núm. 4 la cantidad de cemento calculada y mezclarlo completamente hasta color uniforme.
- 4.2.5. A la mezcla de suelo que pasa por el tamiz núm. 4 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 tercera 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 3/4 y núm. 4 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 tercera, 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 núm. 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 núm. 1 cuando fue moldeada y los cambios subsiguientes durante el ensayo, y darlo como porcentaje al peso seco original de la muestra.

TABLA I.—VALORES PROMEDIOS

Clasificación AASHO del suelo	Promedio de agua retenida después de secado a 110° C por cien
A-1, A-3	1,5
A-2	2,5
A-4, A-5	3,0
A-6, A-7	3,5

- 5.3. Corregir del peso seco de la muestra núm. 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 retenida en la muestra a 110° 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 núm. 2, después de seca a 101° C, para la fórmula anterior, debe presumirse igual al agua retenida en la muestra núm. 1. Cuando la muestra núm. 1 no es moldeada, como porcentaje de agua retenida debe tomarse el valor promedio dado en la tabla I.

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

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

donde

A = Peso seco original de la muestra menos peso seco original 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 obtenidas en las muestras moldeadas.
 - 6.1.3. El porcentaje de cemento contenido en las muestras.
 - 6.1.4. El cambio de humedad y volumen máximos obtenidos a partir de la muestra núm. 1.
 - 6.1.5. La pérdida en tanto por ciento de suelo-cemento obtenida del ensayo de la muestra núm. 2.

7. OBSERVACIONES

- 7.1. Durante la compactación debe colocarse el molde sobre una base suficientemente rígida para que no amortigüe los golpes.
- 7.2. Durante los días festivos en el transcurso del ensayo mantener las muestras en estufa durante la parada provisional.

8. CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

ASTM Designación: L-559.
AASHO " T-135.