

## HUMEDECIMIENTO Y SECADO DE MEZCLAS COMPACTADAS DE SUELO–CEMENTO

INV E – 612 – 13

### 1 OBJETO

---

- 1.1** Esta norma de ensayo cubre procedimientos para determinar las pérdidas, los cambios de humedad y los cambios de volumen (expansión y contracción) producidos por el humedecimiento y secado repetido de especímenes endurecidos de suelo–cimento. Los especímenes se compactan en un molde, antes de la hidratación del cemento, hasta la densidad máxima con el contenido óptimo de humedad, empleando los procedimientos de compactación descritos en la norma INV E–611.
- 1.2** Para la preparación del material para moldear los especímenes, se contemplan dos métodos según la granulometría del suelo, aplicando los mismos criterios de los métodos A y B de la norma INV E–611.
- 1.3** Esta norma reemplaza la norma INV E–807–07.

### 2 IMPORTANCIA Y USO

---

- 2.1** Estos métodos de ensayo se emplean para determinar la resistencia que presentan unos especímenes compactados de suelo–cimento a ciclos de humedecimiento y secado. Sus resultados se suelen emplear en conjunto con los obtenidos con la aplicación de la norma INV E–614, para determinar el contenido mínimo de cemento requerido para obtener una mezcla de suelo–cimento de fuerza adecuada para soportar el intemperismo en servicio.

### 3 EQUIPO

---

- 3.1** Para el ensayo descrito en esta norma se emplea el mismo equipo requerido para preparar y compactar las mezclas de suelo–cimento, según se describe en la norma INV E–611. Adicionalmente, se necesitan los siguientes elementos:

- 3.2** *Horno* – Termostáticamente controlado que pueda mantener una temperatura de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ \text{F}$ ) para la determinación de la humedad de los especímenes, y una temperatura de  $71 \pm 3^\circ \text{C}$  ( $160 \pm 5^\circ \text{F}$ ) para secar los especímenes compactados de suelo–cemento.
- 3.3** *Cámara húmeda* – Una cámara húmeda o un recipiente cubierto que pueda mantener una temperatura de  $21 \pm 1.7^\circ \text{C}$  ( $70 \pm 3^\circ \text{F}$ ) con una humedad relativa del 100 % para 7 días de almacenamiento de los especímenes compactados.
- 3.4** *Baño de agua* – De tamaño adecuado para sumergir los especímenes compactados en el agua a la temperatura ambiente.
- 3.5** *Cepillo de cerdas de alambre* – Un cepillo de cerdas de alambre calibre 26 de  $50.8 \times 1.6 \text{ mm}$  ( $2" \times 1/16"$ ) compuesto por 50 grupos de 10 cerdas cada uno, montados de manera que formen 5 filas longitudinales y 10 filas transversales de cerdas sobre un bloque de madera dura de  $190 \times 63.5 \text{ mm}$  ( $7\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2}"$ ).
- 3.6** *Escarificador* – Un punzón de 6 dientes para romper hielo o un aparato similar, para remover el plano de compactación de la primera y segunda capa del espécimen.
- 3.7** *Dispositivo de medida* – Un dispositivo adecuado para la medida precisa de las alturas y diámetros de los especímenes de ensayo con aproximación de 0.20 mm (0.01").
- 3.8** *Bandejas y soportes* – Adecuados para el manejo de materiales.
- 3.9** *Una probeta de vidrio* – Con 250 ml de capacidad para medir agua.

## 4 CALIBRACIÓN

---

- 4.1** Aplica lo que se describe en la Sección 4 de la norma INV E – 611.

## 5 MÉTODO A: EMPLEANDO MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ DE 4.75 mm (No. 4)

---

- 5.1** *Preparación del material para el moldeo de especímenes:*

**5.1.1** La muestra de suelo se debe preparar de acuerdo con el procedimiento descrito para el Método A en la Sección 5 de la norma de ensayo INV E – 611.

**5.1.2** Se escoge una cantidad suficiente del suelo preparado según el numeral 5.1.1, para obtener dos especímenes compactados (nota 1) y las muestras requeridas para determinar la humedad.

*Nota 1 (Opcional): Usualmente, sólo se necesita un espécimen (identificado con el No. 2) para ensayos de rutina. El otro espécimen (identificado con el No. 1) se emplea para investigaciones y ensayos auxiliares.*

**5.1.3** Se agrega al suelo la cantidad requerida de cemento y se mezclan completamente hasta que se obtenga un color uniforme.

**5.1.4** Se agrega suficiente agua potable para llevar la mezcla a su contenido óptimo de humedad en el momento de la compactación, y se mezcla completamente. Cuando el suelo que se emplea sea de textura arcillosa pesada (grasa), la mezcla de suelo, cemento y agua se compacta en el recipiente plano hasta tener un espesor de alrededor de 50 mm (2"), empleando el martillo descrito en el numeral 3.2 de la norma INV E-611 o un martillo similar de manejo manual; se cubre y deja en reposo entre 5 y 10 minutos para que haya dispersión de la humedad y permitir una absorción más completa por parte del suelo-cemento.

**5.1.5** Después del período de absorción, se disgrega la mezcla completamente, sin reducir el tamaño natural de las partículas individuales hasta cuando, a simple vista, se considere que pasa por el tamiz 4.75 mm (No. 4), y se vuelve a mezclar.

## **5.2** Moldeo de especímenes:

**5.2.1** Se forma un espécimen, compactando inmediatamente la mezcla de suelo-cemento en el molde (con el collar ajustado) y enrasando la superficie del espécimen de acuerdo con el Método A de la norma INV E-611; adicionalmente, se escarifica la parte superior de la primera y de la segunda capa para romper planos lisos de compactación, antes de colocar y compactar las capas subsiguientes. Esta escarificación deberá formar ranuras en ángulos rectos, de aproximadamente 3.2 mm (1/8") de ancho, 3.2 mm (1/8") de profundidad y a separaciones de 6.4 mm (1/4").

- 5.2.2** Durante la compactación, se toma una muestra representativa de la mezcla de suelo-cemento, que tenga una masa mínima de 100 g. Se determina y anota esta masa. Inmediatamente se seca esta muestra en el horno a  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ \text{F}$ ) por lo menos durante 12 horas, o hasta masa constante. Se determina y anota su masa luego del secado, con cuatro cifras significativas. El contenido de agua se calcula como se indica en la norma INV E-122, y se compara con la humedad óptima de diseño (nota 6).
- 5.2.3** Se determina y anota la masa del espécimen compactado y el molde con cuatro cifras significativas. A continuación, se extrae el espécimen del molde y se calcula su peso unitario seco en  $\text{kgf/m}^3$  ( $\text{lbf/ft}^3$ ) como se describe en la norma INV E-611, y se compara con el peso unitario máximo de diseño (nota 6).
- 5.2.3.1** Si el peso unitario seco obtenido se encuentra dentro de las tolerancias especificadas en el diseño, se identifica el espécimen con un membrete metálico (u otro dispositivo adecuado) como No. 1, juntamente con otras marcas de identificación necesarias, y se empleará para obtener datos sobre cambios de humedad y de volumen durante el ensayo.
- 5.2.3.2** Si el peso unitario seco obtenido no se encuentra dentro de las tolerancias especificadas en el diseño, se deberá compactar otro espécimen.
- 5.2.4** Se forma un segundo espécimen tan rápidamente como sea posible, y se determinan el porcentaje de humedad y el peso unitario seco como se describió en los numerales 5.2.1 a 5.2.3. Se identifica este espécimen como el No. 2, junto con otras marcas de identificación necesarias y se emplea para obtener datos sobre las pérdidas del suelo-cemento durante el ensayo.
- 5.2.5** Se determinan el diámetro y la altura promedio del espécimen No. 1 y se calcula su volumen.
- 5.2.6** Se colocan los especímenes en dispositivos adecuados en la cámara húmeda y se protegen del agua libre durante un período de 7 días.
- 5.2.7** Se determina la masa y se mide el espécimen No. 1 al final del almacenamiento de 7 días, para obtener datos para el cálculo de su contenido de humedad y de su volumen.

*Nota 2: Es importante que todas las medidas de altura y diámetro se hagan con exactitud de 0.2 mm (0.01") y que se tomen en los mismos puntos sobre el espécimen todas las veces.*

### 5.3 Procedimiento:

- 5.3.1** Al final del período de almacenamiento en la cámara húmeda, se sumergen los especímenes en agua potable a temperatura ambiente durante 5 horas. Se retiran del baño de agua y se determinan y anotan la masa y las medidas del espécimen No. 1 (cambio de volumen y humedad del espécimen).
- 5.3.2** Se colocan ambos especímenes en un horno a  $71 \pm 3^{\circ} \text{C}$  ( $160 \pm 5^{\circ} \text{F}$ ) durante 42 horas y luego se sacan de él. Se determinan y anotan la masa y las medidas del espécimen No. 1.
- 5.3.3** Se dan dos pasadas firmes al espécimen No.2 (especimen para la pérdida de suelo-cemento) sobre toda su área, empleando el cepillo de cerdas de alambre. El cepillo se deberá mantener con su eje longitudinal paralelo al eje longitudinal del espécimen o paralelo a los bordes, como sea necesario, para cubrir toda su superficie (Figura 612 - 1). Se aplican esas pasadas a la altura y ancho totales del espécimen con un golpe firme que corresponda aproximadamente a 13.3 N (3 lbf) (nota 3). Se requieren de 18 a 20 pasadas verticales con el cepillo para cubrir dos veces los lados del espécimen y cuatro pasadas sobre cada extremo.

*Nota 3: Esta presión se mide de la siguiente forma: Se coloca el espécimen en la posición vertical sobre el borde de una balanza de plataforma y se pone la escala en cero. Se aplican los golpes de cepillado verticales al espécimen y se establece la fuerza necesaria para que la escala registre aproximadamente 13.3 N (3 lbf).*



Figura 612 - 1. Cepillado del espécimen

- 5.3.4** Los procedimientos descritos en los numerales 5.3.1 a 5.3.3 constituyen un ciclo (48 horas) de humedecimiento y secado. Se sumerge de nuevo el espécimen en agua y se continúa el procedimiento hasta completar 12 ciclos.

*Nota 4: Cuando se efectúan investigaciones o estudios especiales, las determinaciones de la masa del espécimen No. 2 antes y después del cepillado se hace generalmente al final de cada ciclo.*

- 5.3.5** El espécimen No.1 se podrá discontinuar antes de los 12 ciclos, si las medidas se llegan a hacer imprecisas debido a las pérdidas de suelo-cemento del espécimen.

*Nota 5: Si no es posible correr ciclos continuamente a causa de domingos, feriados o por cualquier otra razón, se mantiene el espécimen en el horno durante el tiempo de receso, si es posible.*

- 5.3.6** Cumplidos los 12 ciclos de ensayo, se secan los especímenes hasta masa constante a  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ \text{F}$ ) y se pesan para hallar su masa secada al horno.

- 5.3.7** Los datos obtenidos permitirán calcular los cambios de volumen y de humedad del espécimen No. 1, así como las pérdidas de suelo-cemento del espécimen No. 2 después de los 12 ciclos de ensayo.

## 6 MÉTODO B: EMPLEANDO MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ DE 19.0 mm ( $\frac{3}{4}$ " )

### 6.1 Preparación del material para el moldeo de especímenes:

- 6.1.1** Se prepara la muestra de suelo, de acuerdo con el Método B de la norma INV E-611.

- 6.1.2** Se escogen y mantienen separadamente muestras representativas del suelo que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4) y del agregado saturado con superficie seca que pasa el tamiz de 19 mm ( $\frac{3}{4}$ " ) y queda retenido en el de 4.75 mm (No. 4), de manera que la muestra total sea suficiente para proporcionar dos especímenes compactados (nota 1) más las muestras requeridas para la determinación de la humedad. El porcentaje, en masa seca al horno, del agregado que pasa el tamiz de 19.0 mm ( $\frac{3}{4}$ " ) y que queda retenido en el de 4.75 mm (No. 4), deberá ser igual al porcentaje que pasa el tamiz de 75 mm (3") y que queda retenido en el de 4.75 mm (No. 4) en la muestra original.

- 6.1.3** Se agrega a la porción de muestra que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4), la cantidad de cemento requerida, para la muestra total especificada en el numeral 6.1.2. Se mezclan completamente el cemento y el suelo hasta obtener un color uniforme.
- 6.1.4** Se agrega a la porción de muestra que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4), agua suficiente para llevar la mezcla total de suelo-cemento hasta su contenido óptimo de humedad en el momento de la compactación y facilitar la dispersión de la humedad como se describe para el Método A, en los numerales 5.1.4 y 5.1.5.
- 6.1.5** Después de preparada la mezcla como se describe en los numerales 6.1.1 a 6.1.4, se agrega a la mezcla el agregado grueso saturado con superficie seca, y se mezcla completamente.

**6.2** *Moldeo de especímenes:*

- 6.2.1** Se forma un espécimen, compactando inmediatamente la mezcla de suelo-cemento en el molde (con el collar ajustado) y enrasando la superficie del espécimen de acuerdo con el Método B de la norma INV E-611; adicionalmente, a medida que se coloca cada capa en el molde se remueve el material empleando un cuchillo de carnicero antes de compactarlo, con el fin de obtener una distribución uniforme del material retenido en el tamiz de 4.75 mm (No. 4) y, también, para escarificar la parte superior de la primera y de la segunda capa como se describe en el numeral 5.2.1 para el Método A.
- 6.2.2** Durante la compactación, se toma de la mezcla una muestra representativa de suelo-cemento con una masa no menor de 500 g. Se determina la masa inmediatamente, y se seca en un horno a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ) por un mínimo de 12 horas o hasta masa constante, para determinar la humedad de ensayo y compararla con la humedad de diseño.
- 6.2.3** Tan rápidamente como sea posible, se elabora un segundo espécimen de la misma manera que el primero.
- 6.2.4** Se determina y anota la masa de cada espécimen compactado para compararla con la densidad de diseño. Se identifica y mide el espécimen No. 1 (nota 1), se colocan en la cámara húmeda y se protegen del agua libre durante un período de 7 días.

- 6.2.5** Se determina la masa y se mide el espécimen No. 1 al final del almacenamiento de 7 días, para obtener datos para el cálculo de su contenido de humedad y su volumen (nota 2).

**6.3** *Procedimiento:*

- 6.3.1** Se procede como se indica en el numeral 5.3 para el Método A.

## 7 CÁLCULOS

- 7.1** Se calculan los cambios de volumen y humedad y las pérdidas de los especímenes de suelo-cemento, en la siguiente forma:

- 7.1.1** Se calcula la diferencia entre el volumen del espécimen No. 1 en el momento del moldeo y los volúmenes subsiguientes, como un porcentaje del volumen original.

- 7.1.2** Se calcula el contenido de humedad del espécimen No. 1 en el momento del moldeo y los subsiguientes contenidos de humedad, como un porcentaje de la masa seca al horno del espécimen original.

- 7.1.3** Se corrige la masa seca al horno del espécimen No. 2, obtenida en el numeral 5.3.6, debido al agua que ha reaccionado con el cemento y el suelo durante el ensayo y que es retenida en el espécimen a 110° C (230° F), así:

$$\text{Masa seca al horno final corregida} = \frac{A}{100 + B} \times 100 \quad [612.1]$$

Donde: A: Masa seca al horno luego del secado final a 110° C (230° F), g;

B: Porcentaje de agua retenida en el espécimen, %.

- 7.1.3.1** El porcentaje de agua retenida en el espécimen No. 2 después del secado a 110° C para emplear en la fórmula del numeral 7.1.3 se puede suponer igual al agua retenida en el espécimen No. 1. Cuando no se moldean los especímenes No. 1, no se dispone de este dato y se emplearán los valores promedios prescritos en la Tabla 612 - 1.



Tabla 612 - 1. Valores promedio de agua retenida

CLASIFICACIÓN AASHTO DEL SUELO QUE SE ESTÁ ESTABILIZANDO	PROMEDIO DE AGUA RETENIDA DESPUÉS DE SECADO 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

**7.1.4** Se calcula la pérdida de suelo-cemento del espécimen No. 2, como un porcentaje de la masa original seca al horno del espécimen, así:

$$\text{Pérdidas, \%} = \frac{X}{Y} \times 100 \quad [612.2]$$

Donde: X: Masa original seca al horno calculada, menos masa seca al horno final corregida, g;

Y: Masa original seca al horno calculada, g.

## 8 INFORME

**8.1** El informe debe incluir:

**8.1.1** Identificación de la muestra ensayada.

**8.1.2** Procedimiento de ensayo empleado (Método A o Método B).

**8.1.3** Humedad óptima y densidad máxima de diseño.

**8.1.4** Humedad y densidad logradas en los especímenes moldeados.

*Nota 6: A menos que se especifique algo diferente, la práctica normal de laboratorio permite siguiente la tolerancia entre los factores de diseño y los obtenidos en especímenes moldeados:*

*Humedad:  $\pm 1\%$*

*Peso unitario seco:  $\pm 48 \text{ kgf/m}^3$  ( $3 \text{ lbf/pe}^3$ )*

**8.1.5** El contenido de cemento de diseño, en porcentaje, de los especímenes moldeados.

**8.1.6** El máximo cambio de volumen, en porcentaje, y el contenido máximo de humedad durante el ensayo, del espécimen No. 1.

**8.1.7** La pérdida del suelo–cemento, en porcentaje, del espécimen No. 2.

## 9 PRECISIÓN Y SESGO

**9.1** *Precisión* – La información existente para juzgar la variabilidad de los resultados de estos métodos de ensayo es limitada. Los datos se presentan en la Tabla 612 - 2.

**9.1.1** La experiencia indica que las variaciones en los resultados del ensayo son mayores cuando se producen mayores pérdidas de masa. El grado de variación de mayor interés es el relacionado con el criterio de pérdida de masa admisible. Información sobre el tema se encuentra en el *“Soil–cement laboratory handbook”*, de la *Portland Cement Association*.

Tabla 612 - 2. Pérdidas de masa de especímenes duplicados en el ensayo de humedecimiento y secado

SUELO No.	CLASIFICACIÓN AASHTO	CONTENIDO DE CEMENTO, %	PÉRDIDAS DE LOS ESPECÍMENES DUPLICADOS
8939	A-1-b (0)	2	17, 19
		3	6, 0
		5	5, 1
8295	A-4 (5)	3	9, 11
		5	6, 2
		7	0, 0
		10	0, 2
8942	A-6 (10)	3	20, 25
		5	6, 7
		7	1, 1
		10	0, 0
9069	A-4 (8)	4	12, 12
		6	7, 6
		8	3, 3
		10	2, 2

- 9.2** *Sesgo* – Debido a que no existe un material de referencia aceptado, que resulte adecuado para determinar el sesgo para el procedimiento de la determinación de las pérdidas de masa de las mezclas de suelo-cemento, no se hace ninguna declaración en relación con el sesgo.

## **10 NORMAS DE REFERENCIA**

---

ASTM D 559 – 03 (retirada por la ASTM en 2012)

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS