

PREPARACIÓN Y CURADO DE PROBETAS DE SUELO-CEMENTO PARA PRUEBAS DE COMPRESIÓN Y FLEXIÓN EN EL LABORATORIO

INV E – 613 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma cubre el procedimiento para moldear y curar en el laboratorio probetas de suelo-cemento, utilizadas en pruebas de compresión y flexión, bajo un control exacto de las cantidades de materiales y de las condiciones de ensayo.
- 1.2 Esta norma reemplaza la norma INV E-808-07.

2 IMPORTANCIA Y USO

- 2.1 Esta norma aplica para la preparación de probetas de suelo-cemento para ensayos de resistencia a la compresión y a la flexión que se realizan de acuerdo con el Método B de la norma INV E-614 y con las normas INV E-615 e INV E-616.
- 2.2 Esta norma de ensayo no aplica para probetas de suelo-cemento preparadas en los moldes de compactación usuales de 101.6 mm (4") de diámetro y 116.4 mm (4.584") de altura. Para la preparación de las probetas de este tamaño, requeridas para las pruebas de compresión con el Método A de la norma INV E-614, se deberá aplicar la norma INV E-612.

3 EQUIPO

- 3.1 *Moldes para probetas de prueba de compresión (Figura 613 - 1)* – El molde para preparación de la probeta de suelo-cemento debe tener un diámetro interior de 71 ± 0.25 mm (2.8 ± 0.01 ") y una altura de 229 mm (9"), para moldear especímenes de 71 mm (2.8") de diámetro y 142 mm (5.6") de altura. Los accesorios del molde son los siguientes: dos pistones (superior e inferior), de acero maquinado, de diámetro menor en 0.13 mm (0.005") que el del molde; una extensión del molde de 152 mm (6") de longitud; un anillo espaciador y, al menos, dos discos separadores de aluminio, de 1.54 mm (1/16") de espesor y 70.6 (2.78") de diámetro.

Nota 1: Resultan satisfactorios los moldes hechos mediante templado en frío, de tubería de acero sin costura con una dureza de Rockwell de aproximadamente 85 HRB o de tubería de acero torneada en el interior. Las probetas de 71 × 142 mm (2.8 × 5.6") ajustan bien con muchas máquinas para compresión triaxial en servicio y, por lo tanto, se pueden usar tanto para el triaxial como para pruebas de compresión simple.

- 3.2** *Moldes para probetas de prueba de flexión (Figuras 613 - 2 y 613 - 3) – Las dimensiones interiores de los moldes deben ser 76.2 × 76.2 × 285.8 mm (3 × 3 × 11¼") para moldear probetas del mismo tamaño. Los moldes deben estar diseñados para que la probeta sea moldeada con su eje longitudinal en una posición horizontal. Las partes de los moldes deberán estar encajadas, ajustadas y sostenidas adecuadamente. Los lados de los moldes deberán ser suficientemente rígidos para prevenir alabeo y ampliaciones. Las caras interiores de los moldes deberán ser superficies planas con una variación permisible de 0.051 mm (0.002"), por cada 76.2 mm (3") de cualquier línea sobre una superficie para moldes nuevos, y de 0.076 mm (0.003") para moldes usados. La distancia entre los lados opuestos deberá ser 76.20 ± 0.25 mm (3 ± 0.01") para moldes nuevos, y 76.20 ± 0.38 mm (3 ± 0.015") para moldes en el uso. La altura de los moldes deberá ser 76.20 mm (3"), con variaciones permisibles de – 0.25 mm (– 0.01") y + 0.13 mm (+0.005") tanto para moldes nuevos como usados. Se debe contar con cuatro barras espaciadoras de 9.52 mm (3/8") y placas superior y de base, de acero maquinado. Las placas deben encajar en el molde con un espacio libre de 0.13 mm (0.005") por todos los lados.*

Nota 2: Los moldes deben ser hechos de metal con una dureza no menor de 85 HRB.

- 3.3** *Tamices – Se requieren tamices de: 50 mm (2"), 19.0 mm (¾"), 4.75 mm (No. 4) y 1.18 mm (No. 16).*
- 3.4** *Balanzas – Una balanza de 12 kg (25 lb) de capacidad, con una sensibilidad de 0.0045 kg (0.01 lb) y una balanza de 1000 g de capacidad con posibilidad de lectura de 0.1 g.*
- 3.5** *Horno – De control termostático, capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5° C (230 ± 9° F), para secar la humedad de las muestras.*
- 3.6** *Aparato para ensayo de compresión o marco de compresión – Una máquina de compresión o un marco de compresión con capacidad suficiente para aplicar 270 kN (60 000 lbf) para compactar las probetas para la prueba de flexión, y de uso opcional en la compactación de la probetas para el ensayo de compresión.*
- 3.7** *Máquina de compactación por impacto – Un dispositivo de impacto controlado, de 6.8 kg (15 lb), para golpear el pistón superior, de uso opcional*

en la compactación de las probetas para el ensayo de compresión. (Figuras 613 - 4 y 613 - 5). Cuando se utilice este equipo, el pistón superior mencionado en el numeral 3.1 hace las veces de pata del dispositivo compactador.

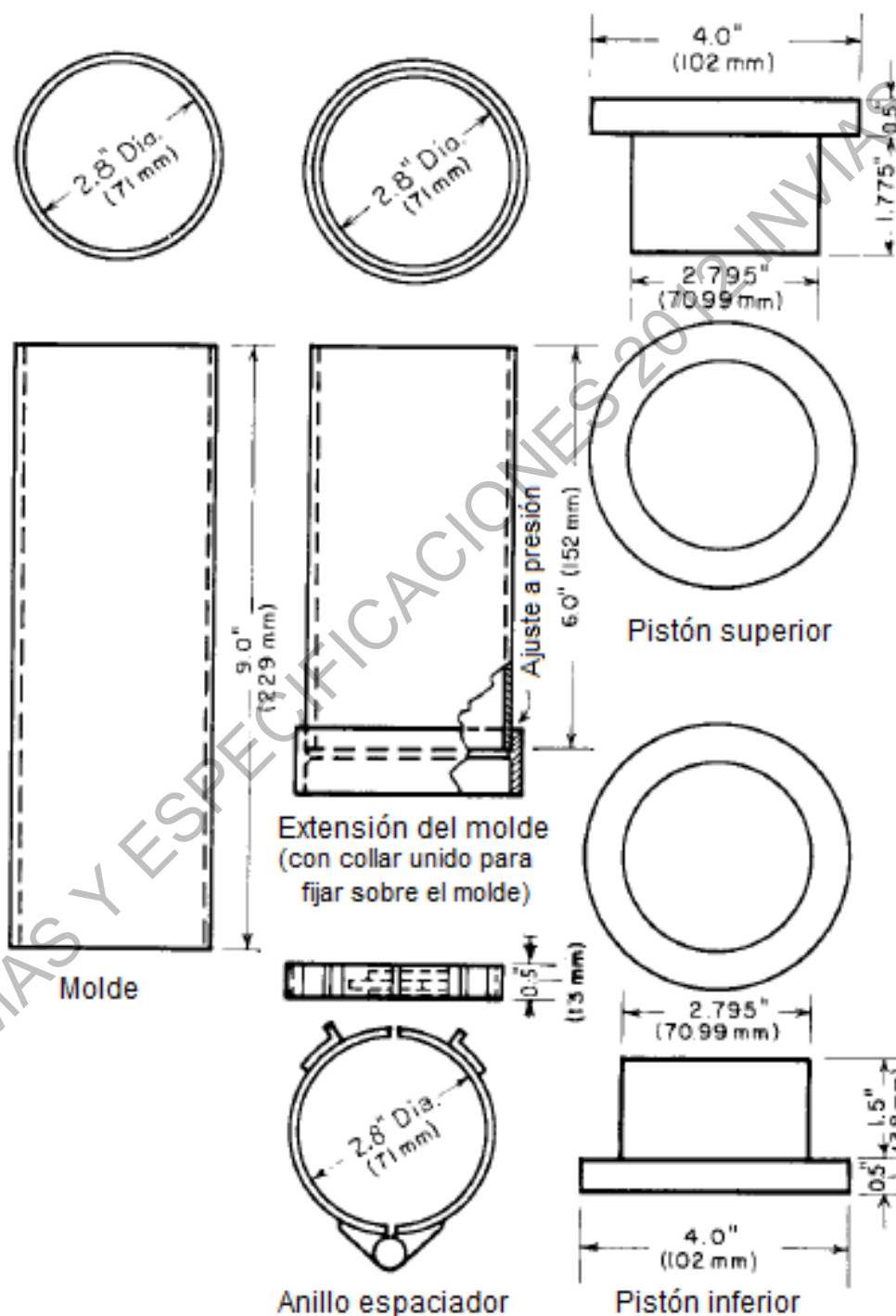


Figura 613 - 1. Molde para probetas cilíndricas de suelo - cemento

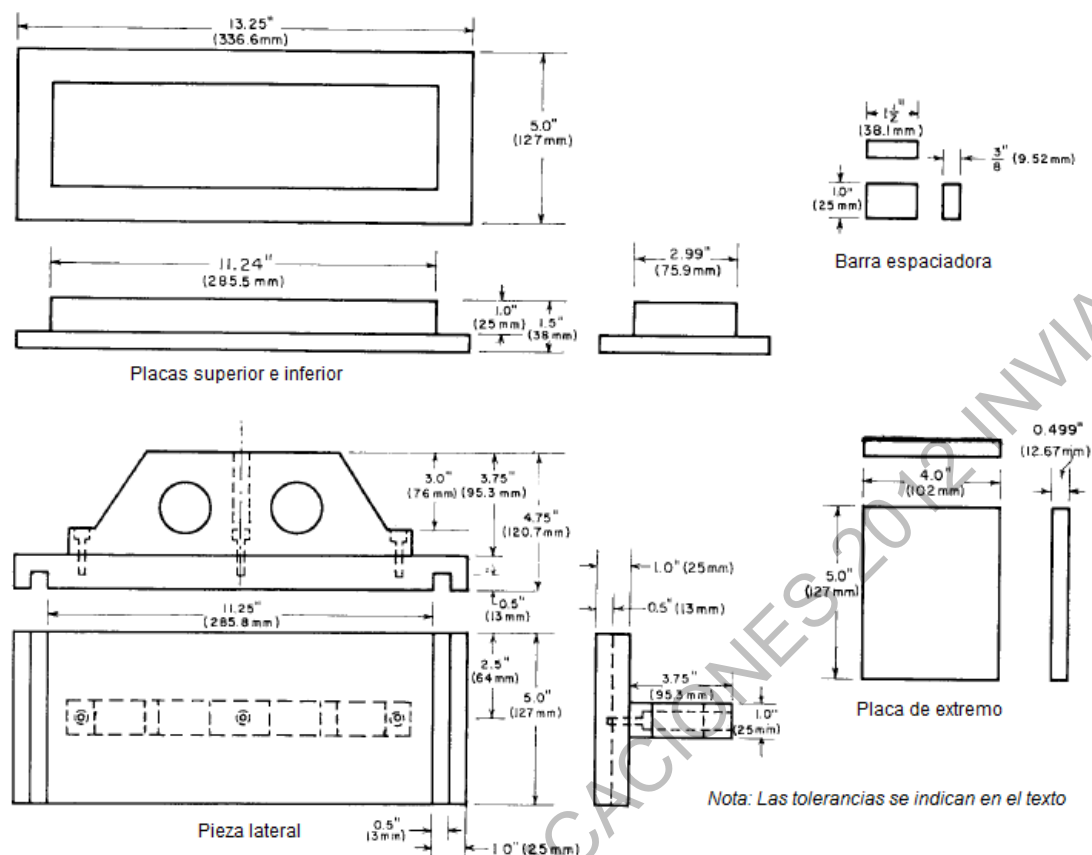


Figura 613 - 2. Moldes para vigas de suelo-cemento para el ensayo de flexión



Figura 613 - 3. Molde y placa superior de acero para elaborar vigas de 76.2 × 76.2 × 285.8 mm (3 × 3 × 11¼") para el ensayo de flexión

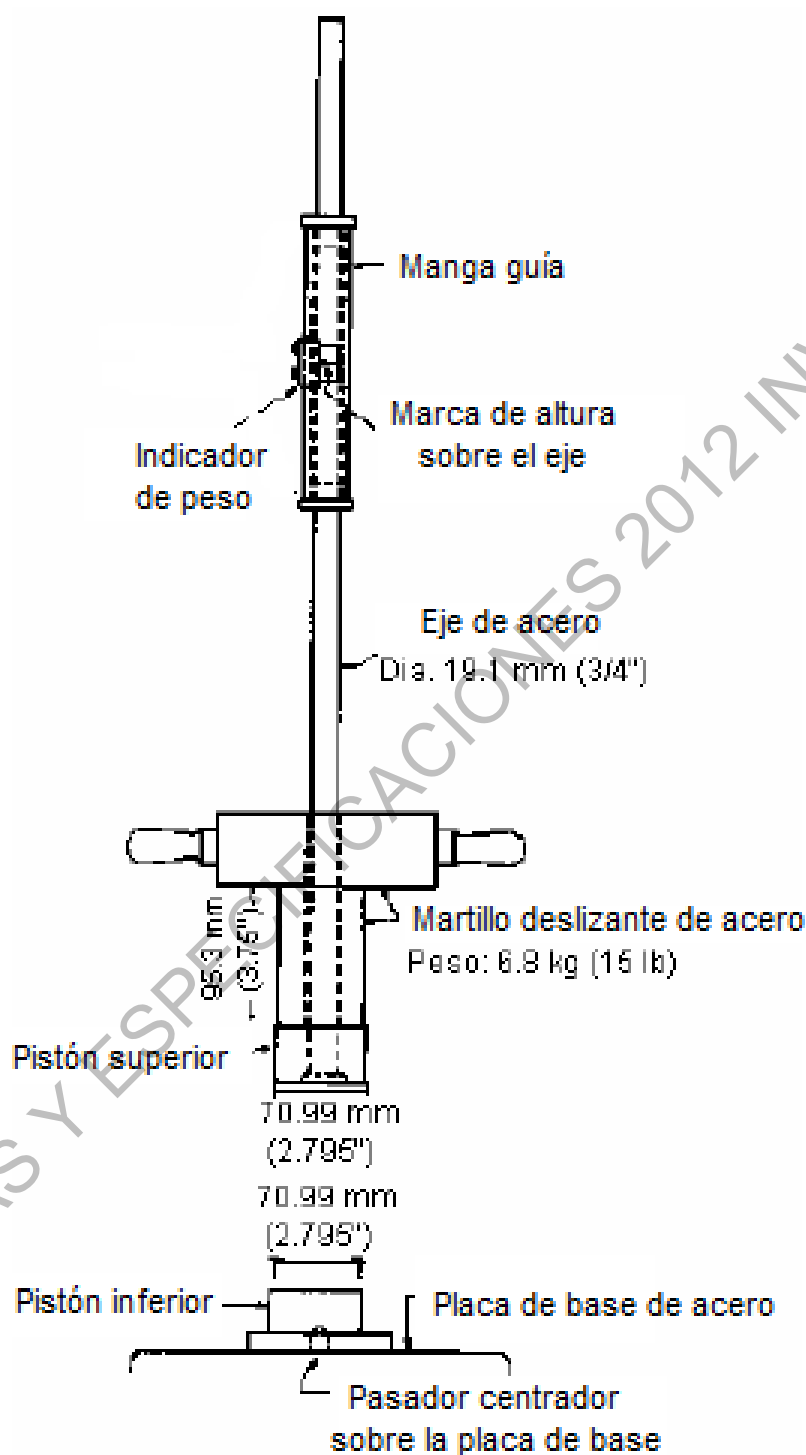


Figura 613 - 4. Esquema de un compactador adecuado por impactos

- 3.8** *Extractor de la probeta compactada* – Compuesto por pistón, prensa y armazón, necesarios para extraer la muestra compactada por extrusión.

- 3.9** *Elementos varios* – Palustre, espátula, recipiente para mezcla o una mezcladora mecánica para mezclar el suelo-cemento con agua, recipiente graduado para medir el agua, latas para la determinación de la humedad, etc.
- 3.10** *Varilla apisonadora* – Varilla de acero, lisa, de 12.7 mm (½") de diámetro y 510 mm (20") de longitud, con extremos de corte recto.
- 3.11** *Cuarto húmedo* – Un cuarto o una cabina para el curado húmedo de las probetas, capaz de mantener una temperatura de $23.0 \pm 1.7^\circ \text{C}$ ($73.4 \pm 3^\circ \text{F}$) y una humedad relativa no menor de 96 %.



Figura 613 - 5. Compactador por impactos para elaborar especímenes cilíndricos de 71 × 142 mm (2.8 × 5.6") destinados al ensayo de compresión

4 PREPARACIÓN DE LOS MATERIALES

- 4.1** Los materiales se colocan a la temperatura ambiente, preferiblemente entre 18 y 24° C (65 a 75° F), antes de comenzar los ensayos.

- 4.2** Se almacena el cemento en un lugar seco, en recipientes a prueba de humedad, preferiblemente metálicos. Se mezcla cuidadosamente el cemento, con el fin de obtener una muestra homogénea. Se pasa el cemento a través del tamiz No. 16 (1.18 mm) y se descarta el material retenido (terrones, grumos).
- 4.3** El agua de mezcla debe estar libre de ácidos, álcalis, aceites y, en general, ser apropiada para el consumo humano.
- 4.4** Se seca la muestra de suelo, si estaba húmeda al llegar de la obra, hasta que se note friable al introducir en ella un palustre. El secado debe ser al aire o con un aparato secador, siempre y cuando la temperatura no exceda de 60° C (140° F). Se disgregan cuidadosamente los grumos de suelo, respetando el tamaño natural de las partículas individuales.
- 4.5** Se tamiza una cantidad adecuada y representativa del suelo pulverizado, empleando los tamices de 50 mm (2"), 19.0 mm (¾") y 4.75 mm (No. 4). Se debe descartar cualquier agregado retenido en el tamiz de 50 mm (2"). Se remueve el material que pasa el tamiz de 50 mm (2") y queda retenido en el tamiz de 19.0 mm (¾"), para reemplazarlo por una masa igual de material que pasa el tamiz de 19.0 mm (¾") y es retenido en el de 4.75 mm (No. 4). Este material de reemplazo se debe obtener de la muestra original.
- Nota 3: Esta norma de ensayo se utiliza, principalmente, para elaborar especímenes de suelo-cemento para pruebas de compresión y flexión, con suelos que no tengan más de 35 % de agregado retenido en el tamiz de 4.75 mm (No. 4) y no más de 85 % retenido en el tamiz de 425 µm (No. 40).*
- 4.6** Se coloca en inmersión en agua, durante 24 horas, el material que pasa el tamiz de 19.0 mm (¾") y queda retenido en el de 4.75 mm (No. 4) y luego se seca superficialmente. Se determinan sus propiedades de absorción de acuerdo con la norma INV E-223.
- 4.7** Se toma una muestra de 100 g del suelo que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4) y se seca en el horno hasta obtener masa constante. Se determina el contenido de humedad de la muestra, dato que permitirá calcular la cantidad de agua que se deberá agregar a la mezcla de suelo-cemento para que tenga la humedad apropiada para el moldeo de los especímenes.
- 4.8** Se prepara una muestra de tamaño suficiente para elaborar tres probetas de suelo-cemento para la prueba de compresión o una para el ensayo de flexión, a partir de una porción representativa del material que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4), y también de la fracción que pasa el tamiz de 19.0 mm (¾") y queda retenida en el de 4.75 mm (No. 4), preparadas como se describe en los numerales 4.4, 4.5 y 4.6.

5 DETERMINACIÓN DE LAS MASAS DE LOS MATERIALES

- 5.1** Se determina, con aproximación a 5 g (0.01 lb), la masa de las cantidades de diseño de suelo que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4) y de agregado comprendido entre los tamices de 19.0 mm (¾") y de 4.75 mm (No. 4). Se determina, con aproximación a 1 g, la masa de la cantidad de diseño de cemento y se mide la cantidad de agua de diseño, con aproximación a 1 ml.

Nota 4: Las cantidades de diseño de suelo, agregado, cemento y agua se basan usualmente en resultados obtenidos en otros ensayos. El contenido óptimo de agua de la mezcla y la densidad a la cual se debe compactar la probeta, se determinan mediante la norma INV E-611; la cantidad de cemento es, usualmente, la necesaria para producir un suelo-cemento de calidad adecuada para construcción de bases de pavimentos. Esta cantidad de cemento es indicada por el criterio establecido para interpretar los resultados obtenidos de la norma INV E-612.

6 MEZCLA DE LOS MATERIALES

- 6.1** *Generalidades* – La mezcla de suelo-cemento, hecha a mano o con una mezcladora de laboratorio, debe proporcionar amasadas, cada una con un 10 % en exceso de la necesaria para el moldeo de las probetas. Este material se debe proteger contra la pérdida de humedad y se determina la masa de una porción representativa. Se seca en el horno hasta masa constante y se determina la humedad real de la mezcla de suelo-cemento. Si la mezcla de suelo-cemento contiene agregado retenido en el tamiz de 4.75 mm (No. 4), la porción para determinar la humedad debe tener una masa mínima de 500 g, y se debe determinar con una precisión de 1 g; y si no tiene agregado retenido en el tamiz de 4.75 mm (No. 4), la masa debe ser al menos de 100 g, y se debe determinar con una precisión de 0.1 g.
- 6.2** *Mezcla a mano* – Se mezcla la amasada en un recipiente metálico, limpio y no absorbente, o sobre una plancha de acero, con ayuda de un palustre, de la siguiente manera:
- 6.2.1** Se mezclan el cemento y el suelo de tamaño menor de 4.75 mm, hasta lograr una distribución uniforme.
- 6.2.2** Se agrega el agua y se mezcla hasta obtener una mezcla completa y uniforme.
- 6.2.3** Se añade el material grueso saturado y superficialmente seco y se mezcla el conjunto hasta que el agregado grueso se distribuya uniformemente dentro de la amasada.

- 6.3 Mezcla mecánica** – Se debe seguir la secuencia especificada para mezcla a mano. Para evitar la segregación, la cantidad mezclada se debe depositar en un recipiente metálico, limpio y no absorbente, y se vuelve a mezclar manualmente con el palustre.

Nota 5: La operación de mezcla y compactación de las probetas debe ser continua, y el tiempo transcurrido entre la adición del agua y la compactación final no debe exceder de 30 minutos.

ESPECÍMENES PARA EL ENSAYO DE COMPRESIÓN

7 TAMAÑO DE LAS PROBETAS

- 7.1** La probeta para los ensayos de compresión debe tener forma cilíndrica, con una altura igual al doble del diámetro. El método descrito en esta norma requiere probetas de 71 mm (2.8") de diámetro por 142 mm (5.6") de altura, aunque se puede usar el mismo procedimiento para moldear probetas más grandes o más pequeñas.

8 MOLDEO DE LAS PROBETAS

- 8.1** Se aplica una capa delgada de aceite comercial en las paredes interiores del molde y en los dos discos separadores de aluminio. Se sostiene el molde en posición vertical, con el anillo espaciador sobre el pistón inferior, de forma que éste se introduzca en el molde aproximadamente 25 mm (1").
- 8.2** Se coloca un disco separador sobre la parte inferior del pistón inferior y se ajusta la extensión sobre la parte superior del molde. Se coloca en el molde una masa predeterminada de la mezcla uniforme del suelo-cemento que dé lugar a un espécimen con el peso unitario de diseño, de una altura de 142 mm (5.6"). Si el suelo-cemento contiene agregado retenido en el tamiz de 4.75 mm (No. 4), la mezcla se debe distribuir uniformemente dentro del molde con ayuda de una espátula delgada. Luego, se compacta el suelo-cemento con la varilla apisonadora, introduciendo su extremo recto dentro de la mezcla, en forma firme y con poco impacto hasta alcanzar el rechazo y distribuyendo los golpes de manera uniforme en la sección transversal del molde. Esta operación se debe hacer cuidadosamente, para no dejar vacíos en las mezclas arcillosas de suelo-cemento. El proceso se debe repetir hasta que la mezcla se halle compactada a una altura aproximada de 150 mm (6").

- 8.3** Se remueve la extensión del molde y se coloca el otro disco separador sobre la mezcla de suelo–cemento. Se retira el espaciador que soporta el molde sobre el pistón inferior. Se coloca el pistón superior en posición y se aplica una carga, bien estacionaria mediante una máquina de compresión o bien dinámica mediante una máquina de impacto, hasta obtener un espécimen de una altura de 142 mm (5.6")
- 8.4** Se remueven los pistones y los discos separadores, pero se deja el espécimen de suelo–cemento dentro del molde.

9 CURADO DE LOS ESPECÍMENES

- 9.1** Los especímenes se deben curar dentro de los moldes en la cámara húmeda por 12 horas, o más si es necesario, para permitir su remoción posterior con ayuda del extractor. Después de extraídos, los especímenes se retornan a la cámara húmeda, protegiéndolos de goteo de agua durante el tiempo especificado de curado húmedo. Generalmente, los especímenes se deben ensayar en condición húmeda inmediatamente después de ser removidos de la cámara.

Nota 6: Otros procedimientos de acondicionamiento, como la saturación en agua, el secado al aire o al horno, procesos alternados de humedecimiento y secado o de congelamiento y deshielo, pueden ser especificados después del curado húmedo inicial de la mezcla. Los procedimientos de curado y acondicionamiento deben quedar indicados con detalle en el informe del ensayo.

10 REFRENTADO

- 10.1** Antes del ensayo a compresión, se deben refrentar los extremos de las probetas que no sean planos dentro de una tolerancia de 0.05 mm (0.002"). Las superficies refrentadas deben cumplir esta misma tolerancia y deben ser perpendiculares al eje del espécimen.
- 10.2** El refrentado se debe hacer con una capa de yeso. La capa de refrentado debe ser lo más delgada posible, y se debe aplicar con suficiente anticipación para que endurezca y no se fracture cuando el espécimen se someta a compresión (se sugiere un término de 3 horas a 23° C (73° F)). Durante este período, los especímenes se deben mantener con una humedad constante.

ESPECÍMENES PARA EL ENSAYO DE FLEXIÓN

11 TAMAÑO DE LOS ESPECÍMENES

- 11.1** Los especímenes para las pruebas de flexión serán vigas rectangulares con una longitud medida, al menos 51 mm (2") mayor que el triple de su altura. En esta norma se requiere la elaboración de vigas de 76.2 × 76.2 × 285.8 mm (3 × 3 × 11 ¼"), pero el mismo procedimiento se puede usar para moldear probetas de mayor o menor tamaño.

12 MOLDEO DE LOS ESPECÍMENES

- 12.1** Los especímenes de ensayo se deben fabricar con el eje longitudinal horizontal. Se engrasan ligeramente las partes del molde y se ensambla éste con los lados y extremos separados de la placa de base con las barras espaciadoras de 9.53 mm (3/8"), colocada una en cada esquina del molde.
- 12.2** Se divide en tres porciones iguales una masa predeterminada de suelo-cemento uniformemente mezclada, para elaborar una viga con la densidad de diseño. Se coloca una de las porciones en el molde y se nivela manualmente. Si el suelo cemento contiene material retenido el tamiz de 4.75 mm (No. 4), se distribuye cuidadosamente la mezcla alrededor de las paredes del molde con ayuda de una espátula delgada. El suelo-cemento se compacta inicialmente desde el fondo hacia arriba con golpes firmes, pero de poco impacto, de la varilla de acero lisa mencionada en el numeral 3.10, hasta el punto de rechazo. Para ello, se requieren aproximadamente 90 golpes de la varilla, distribuidos de manera uniforme sobre la sección transversal del molde, con el cuidado necesario para no formar huecos en los suelos cementos arcillosos. Se nivela manualmente la capa y se repite de la misma forma el proceso de colocación y compactación de las otras dos capas. En ese momento, la viga deberá tener aproximadamente 95 mm (3 ¾") de altura.
- 12.3** Se coloca la placa superior del molde en posición y se quitan las barras espaciadoras. La compactación final se proporciona aplicando una carga estática con la máquina de compresión o con el marco de compresión hasta alcanzar la altura de diseño de 76 mm (3").

- 12.4** Inmediatamente después de la compactación, se desmonta cuidadosamente el molde y se remueve la probeta hacia una plataforma lisa y rígida de madera o de lámina metálica.

Nota 7: Un método sugerido para remover el espécimen del molde consiste en quitar primero la tapa y luego los lados y las placas de los extremos del molde. Entonces, el espécimen estará descansando sobre la placa de fondo del molde. Se pone la cara plana de una plataforma de transporte contra un lado del espécimen y, entonces, la placa de fondo del molde, el espécimen, y la plataforma se giran 90°, de manera que el espécimen descanse con su lado sobre la plataforma. Entonces, se retira cuidadosamente la placa de fondo del molde.

13 CURADO DE LAS VIGAS

- 13.1** Las vigas se curan durante el período especificado sobre las plataformas en el cuarto húmedo, protegidas de la acción del agua libre. Generalmente, las vigas se ensayan en condición húmeda, inmediatamente después de ser removidas de la cámara (ver nota 6).

14 REFRENTADO

- 14.1** Antes del ensayo, se deberán refrentar las áreas de los lados opuestos del espécimen tal como fue moldeado, que entrarán en contacto con el bloque para la aplicación de la carga y con los apoyos, si no son planas dentro de una tolerancia de 0.05 mm (0.002"). Las superficies refrentadas deberán cumplir esta misma tolerancia y ser paralelas al eje horizontal del espécimen.

Nota 8: Los especímenes se prueban sobre sus lados, con sus superficies originales superior e inferior, tal como fueron moldeadas, colocadas perpendicularmente a la placa de base de la máquina de ensayo. Las vigas elaboradas en moldes que reúnen las especificaciones dadas en el numeral 3.2, no suelen requerir refrentado.

- 14.2** Si el refrentado es necesario, se puede hacer con una pasta de yeso. La capa de refrentado debe ser lo más delgada posible, y se debe aplicar con suficiente anticipación para que endurezca y no se fracture cuando el espécimen sea ensayado a compresión (se sugiere un término de 3 horas a 23° C (73° F)). Durante este período, los especímenes se deben mantener con una humedad constante.

15 INFORME

15.1 El informe debe incluir los siguientes datos acerca de la mezcla de suelo-cemento:

15.1.1 Gradación del suelo tal como fue recibido y usado en la elaboración de los especímenes.

15.1.2 Números de identificación de los especímenes.

15.1.3 Humedad de diseño.

15.1.4 Peso unitario seco (al horno) de diseño.

15.1.5 Contenido de cemento de diseño.

15.1.6 Humedad real.

15.1.7 Peso unitario seco (al horno) real.

15.1.8 Contenido de cemento real.

15.1.9 Detalles de los procedimientos de curado y de acondicionamiento de los especímenes.

16 PRECISIÓN Y SESGO

16.1 Esta práctica describe los procedimientos para fabricar y curar probetas de ensayo. Puesto que en esta norma no se determinan valores de prueba, no resulta aplicable ninguna declaración sobre precisión y sesgo.

17 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 1632 – 07