

EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADOS FINOS

INV E – 133 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Este ensayo tiene por objeto determinar, bajo condiciones normalizadas, las proporciones relativas de polvo y material de apariencia arcillosa o finos plásticos presentes en suelos o agregados finos de tamaño inferior a 4.75 mm. El término “equivalente de arena” expresa el concepto de que la mayoría de los suelos granulares y los agregados finos son mezclas de arena y partículas gruesas deseables, y de polvo y finos arcillosos o plásticos indeseables.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E–133–07.

2 DEFINICIONES

- 2.1** Las siguientes definiciones son aplicables específicamente a esta norma de ensayo:
- 2.1.1** *Agregado fino* – Agregado que pasa el tamiz de 9.5 mm (3/8") y casi totalmente el de 4.75 mm (No. 4), y queda predominantemente retenido en el tamiz de 75 µm (No. 200).
- 2.1.2** *Equivalente de arena* – Una medida numérica de la contaminación por limo o arcilla en el agregado fino (o suelo), según lo determina este ensayo.
- 2.1.3** *Suelo* – Sedimentos u otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas producidas por desintegración física y alteración química de rocas, que pueden contener o no materia orgánica.

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1** Un volumen normalizado de suelo o de agregado fino y una pequeña cantidad de solución floculante se colocan en un cilindro de plástico graduado y se agitan, para que las partículas de arena pierdan la cobertura de material arcilloso o similar. La muestra es posteriormente "irrigada", usando cierta cantidad de solución floculante, para forzar al material arcilloso o similar a

quedar en suspensión sobre la arena. Después de un período de sedimentación, se determinan las alturas del material arcilloso y fino floculado y de la arena en el cilindro. El equivalente de arena es la relación entre la altura de arena y la altura de arcilla, expresada en porcentaje.

4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1 Este ensayo asigna un valor empírico a la cantidad relativa, finura y carácter del material arcilloso o similar, presente en una muestra de suelo o de agregado fino.
- 4.2 Se puede especificar un valor mínimo del equivalente de arena, con el fin de limitar la cantidad de finos nocivos en un agregado.
- 4.3 Este método de ensayo permite determinar rápidamente en el campo, variaciones de calidad de los agregados durante su producción o colocación.

5 INTERFERENCIAS

- 5.1 La solución de trabajo se debe mantener a $22 \pm 3^\circ \text{C}$ ($72 \pm 5^\circ \text{C}$) durante la ejecución del ensayo.

Nota 1: Si las condiciones de campo impiden mantener este rango de temperaturas, se deberán remitir frecuentemente muestras de referencia a un laboratorio donde se puedan garantizar dichas condiciones. También, es posible establecer curvas de corrección por temperatura para cada material que se deba ensayar. Sin embargo, no existe una curva de corrección universal para materiales diferentes, ni siquiera dentro de un rango reducido de valores de equivalente de arena. Las muestras que satisfagan el requerimiento de equivalente de arena mínimo a una temperatura de la solución de trabajo por debajo del rango recomendado, no requieren ser sometidas a ensayos de referencia.

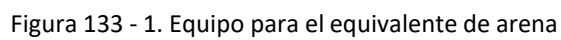
- 5.2 El ensayo se debe realizar en un sitio libre de vibraciones. Las vibraciones excesivas pueden causar la sedimentación del material fino, dando como resultado un valor de equivalente de arena mayor que el real.
- 5.3 Los cilindros plásticos no se deben exponer a la luz solar más de lo necesario.
- 5.4 En ocasiones, puede ser necesario remover cultivos de hongos del recipiente que contiene el cloruro de calcio y del interior de los tubos utilizados para el ensayo. Los hongos se pueden ver con facilidad como una sustancia viscosa en la solución, o como moho en el interior del recipiente.
 - 5.4.1 Para eliminar el cultivo, se prepara un solvente limpiador, diluyendo una solución de hipoclorito de sodio (blanqueador de cloro doméstico) en agua, en partes iguales.

- 5.4.2** Luego de descartar la solución contaminada, se llena el recipiente con la solución limpiadora, así: se permite que, aproximadamente, un litro de la solución limpiadora fluya a través del ensamble formado por el sifón y el tubo irrigador y, entonces, se coloca la pinza de presión en el extremo del tubo para cortar el flujo de solución y mantenerla dentro del tubo. Se llena de nuevo el recipiente y se deja el conjunto en reposo de un día para otro.
- 5.4.3** Luego de la saturación, se descarga la solución limpiadora permitiendo que fluya a través del ensamble sifón–tubo irrigador.
- 5.4.4** Se retiran del recipiente el sifón y el tubo y se enjuagan ambos con agua limpia. El irrigador y el sifón se pueden lavar fácilmente, conectándolos a una llave de agua mediante una manguera y dejando pasar el chorro de agua fresca a través de ellos, en sentido contrario al flujo normal.
- 5.5** En ocasiones, los orificios del tubo irrigador se obstruyen con partículas de arena. Si la obstrucción no se puede suprimir por otro método, se deberá usar un alfiler u otro elemento puntudo para forzarlas, teniendo cuidado para no ensanchar el tamaño de la abertura.
- 5.6** Se debe descartar toda solución de trabajo que cumpla dos semanas de elaborada.
- 5.7** Los recipientes de mezcla y almacenamiento de las soluciones se deben enjuagar totalmente antes de ser llenados con una nueva solución.
- 5.8** No se debe mezclar una solución nueva con una ya elaborada, independientemente de la edad de esta última.

6 EQUIPO

- 6.1** *Cilindro graduado de plástico transparente* – Con diámetro interior de 31.75 ± 0.381 mm ($1\frac{1}{4} \pm 0.015$ ") y altura de 430.0 mm (17") aproximadamente, graduado en espacios de 2.54 mm (0.1"), desde el fondo hasta una altura de 381 mm (15"). La base del cilindro debe ser de plástico transparente de 102 x 102 x 12.7 mm ($4 \times 4 \times \frac{1}{2}$ ") bien asegurada al mismo, como se muestra en la Figura 133 - 1.
- 6.2** *Tapón macizo* – De caucho o goma que ajuste en el cilindro.

- 6.3** *Tubo irrigador* – De acero inoxidable, de cobre o de bronce, de 6.35 mm ($\frac{1}{4}$ " de diámetro exterior, y 0.89 mm (0.035") de espesor, con longitud de 510 mm (20"), con uno de sus extremos cerrado formando una arista. Las caras laterales del extremo cerrado tienen dos orificios de 1 mm de diámetro (calibre No.60), cerca a la arista que se forma. Figura 133 - 1 (detalle 6).
- 6.4** *Tubo flexible* – (de plástico o caucho) De 4.7 mm ($\frac{3}{16}$ ") de diámetro y de 1.20 m de largo, aproximadamente, con una pinza de presión que permita cortar el paso del líquido a través del mismo. Este tubo conecta el sifón con el tubo irrigador.
- 6.5** *Dos botellones* – De 3.785 litros (1 galón) de capacidad. Uno está destinado al almacenamiento de la solución stock. El otro, para la solución de trabajo, debe tener un tapón con dos orificios, uno para el tubo del sifón y el otro para entrada de aire. El frasco se debe colocar a 915 ± 25 mm (36 ± 1 ") de altura sobre la mesa de trabajo.
- Nota 2: Se puede usar un recipiente de cristal o plástico de mayor tamaño, siempre que el nivel de la solución en su interior se mantenga entre 0.914 y 1.17 metros (36" y 46") por encima de la superficie de trabajo.*
- 6.6** *Dispositivo para tomar lecturas* – Un conjunto formado por un disco de asentamiento (pie), una barra metálica, un indicador y una sobrecarga cilíndrica. Este dispositivo está destinado a la toma de lecturas del nivel de arena y tendrá una masa total de 1 kg. La barra metálica tiene 457 mm (18") de longitud; en su extremo inferior lleva enroscado un disco metálico de cara inferior plana perpendicular al eje de la barra (Figura 133 - 2, montaje C). En el Anexo A se muestra un tipo de dispositivo alterno para tomar lecturas.
- Nota 3: La descripción de los elementos del montaje de ensayo mostrado en las Figuras 133 - 1 y 133 - 2, y los materiales que los constituyen, se presentan en la Tabla 133 - 1.*
- 6.7** *Recipiente para medir el espécimen de ensayo* – De 57 mm ($2\frac{1}{4}$ ") de diámetro aproximado, con una capacidad de 85 ± 5 ml.
- 6.8** *Embudo* – De boca ancha, de 100 mm (4") de diámetro en la base, para transferir las muestras al cilindro graduado.
- 6.9** *Reloj o cronómetro.*



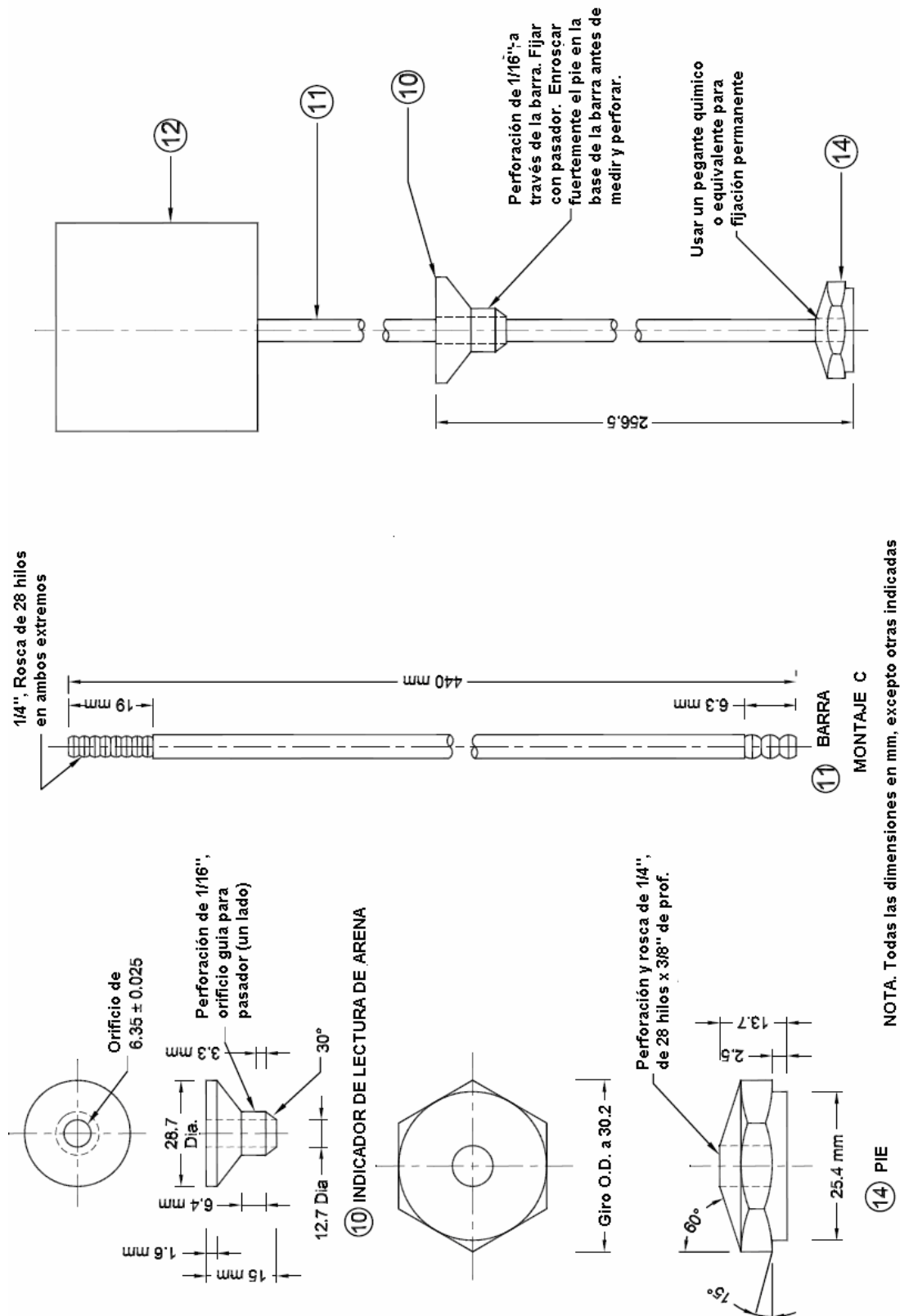


Figura 133 - 2. Equipo para el equivalente de arena (continuación)

6.10 *Un agitador, que puede ser:*

- 6.10.1** *Mecánico*, diseñado para mantener el tubo graduado en posición horizontal mientras está siendo sometido a un movimiento de vaivén paralelo a su longitud, con una carrera de 203.2 ± 1.02 mm (8 ± 0.04 ") y que opere a 175 ± 2 ciclos por minuto (Figura 133 - 3).

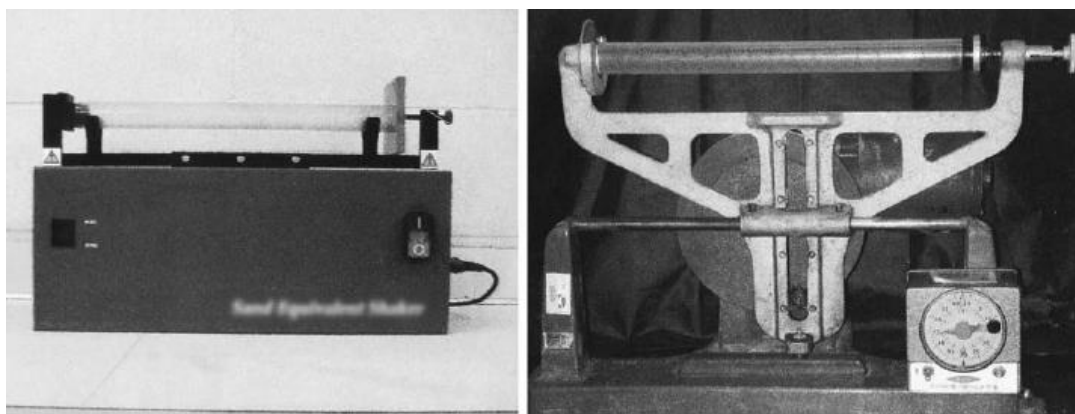


Figura 133 - 3. Agitadores de operación mecánica

- 6.10.2** *De operación manual* (opcional), que sea capaz de producir un movimiento oscilatorio a una rata de 100 ciclos completos en 45 ± 5 s, con ayuda manual y un recorrido medio de 127 ± 5.08 mm (5 ± 0.2 "). El dispositivo debe estar diseñado de manera de sostener el cilindro graduado en posición horizontal mientras se somete a un movimiento de vaivén paralelo a su longitud (Figura 133 - 4). El agitador debe estar sujetado con seguridad a un soporte firme y nivelado.

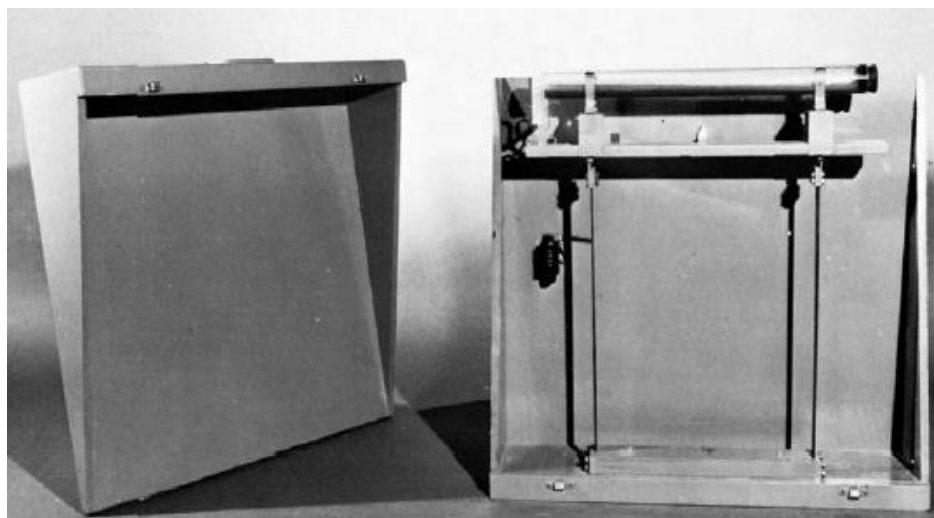


Figura 133 - 4. Agitador de operación manual

6.11 *Un horno secador* – Controlado termostáticamente, capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F).

6.12 *Papel de filtro* – Whatman No. 2 V o equivalente.

6.13 *Elementos misceláneos* – Bandeja circular, toalla, palustre.

Tabla 133 - 1. Elementos del equipo de equivalente de arena (en referencia a las Figuras 133-1 y 133-2)

MONTAJE	PARTE NO.	DESCRIPCIÓN	MATERIAL
A		Conjunto del sifón	
	1	Tubo del sifón	Tubo de cobre (puede ser niquelado)
	2	Manguera del sifón	Tubo de caucho (puro o equivalente)
	3	Manguera de purga	Tubo de caucho (puro o equivalente)
	4	Tubo de purga	Tubo de cobre (puede ser niquelado)
	5	Tapón con dos agujeros	Caucho
	6	Tubo irrigador	
B	7	Abrazadera	
		Conjunto de la probeta graduada	
C	8	Tubo	Acrílico transparente
	9	Base	Acrílico transparente
		Conjunto para lectura de arena	
	10	Indicador de lectura de arena	Nylon 101 tipo 66 templado
	11	Base	Bronce (puede ser niquelado)
	12	Pesa	Acero (puede ser niquelado)
	13	Pasador	Metal resistente a la corrosión
	14	Pie	Bronce (puede ser niquelado)
	15	Tapón sólido	Caucho

7 SOLUCIONES

7.1 *Solución stock* – Los materiales enumerados a continuación se pueden usar para preparar la solución stock. Si el uso de formaldehído es motivo de preocupación, se deben usar los materiales mencionados en los numerales

7.1.2 y 7.1.3. Una cuarta alternativa es la de no usar ningún biocida, siempre y cuando el tiempo de almacenamiento de la solución no sea el suficiente para promover el crecimiento de hongos.

7.1.1 Solución stock con formaldehído:

7.1.1.1 *Cloruro de calcio anhidro*, 454 g (1.0 lb) de grado técnico.

7.1.1.2 *Glicerina USP*, 2050 g (1640 ml).

7.1.1.3 *Formaldehído* (solución al 40 % por volumen), 47 g (45 ml).

7.1.1.4 Se disuelven los 454 g de cloruro de calcio en 1.89 litros (½ galón) de agua destilada. Se deja enfriar y filtra con un papel plegado de filtración rápida. Se añaden los 2050 g de glicerina y los 47 g de formaldehído a la solución filtrada, se mezcla bien y se diluye a 3.78 litros (1 galón).

7.1.2 Solución stock con glutaraldehído:

7.1.2.1 *Cloruro de calcio dihidratado*, 577 g (1.27 lb) de grado A.C.S.

Nota 4: El cloruro de calcio dihidratado de grado ACS se especifica para la solución tipo stock preparada con glutaraldehído, debido a que las pruebas indican que impurezas en el cloruro de calcio anhidro de grado técnico pueden reaccionar con el glutaraldehído, dando como resultado un precipitado desconocido.

7.1.2.2 *Glicerina USP*, 2050 g (1640 ml).

7.1.2.3 *1.5–Pentanodiol (glutaraldehído)*, solución de 50% en agua, 59 g (53 ml).

7.1.2.4 Se disuelven los 577 g (1.27 lb) de cloruro de calcio dihidratado en 1.89 litros (½ galón) de agua destilada. Se deja enfriar y se agregan los 2050 g de glicerina y los 59 g de glutaraldehído a la solución, se mezcla bien y se diluye a 3.78 litros (1 galón).

Nota 5: 1.5-pentanodiol, conocido también como glutaraldehído, dialdehído glutárico y con nombre de fábrica UCARCIDE 250, se puede obtener como solución de glutaraldehído de 50 %.

7.1.3 Solución stock con Kathon CG/ICP:

7.1.3.1 *Cloruro de calcio dihidratado*, 577 g (1.27 lb) de grado ACS.

7.1.3.2 *Glicerina USP*, 2050 g (1640 ml).

7.1.3.3 *Kathon CBG/ICP*, 63 g (53 ml).

7.1.3.4 Se disuelven los 577 g (1.27 lb) de cloruro de calcio dihidratado en 1.89 litros (½ galón) de agua destilada. Se deja enfriar y se añaden los 2050 g de glicerina y los 63 g de

Kathon CG/ICP a la solución, se mezcla bien y se diluye a 3.78 litros (1 galón).

- 7.2** *Solución de trabajo de cloruro de calcio* - La solución de trabajo de cloruro de calcio se prepara diluyendo en agua un volumen igual al recipiente para medir el espécimen de ensayo, (85 ± 5 ml), de la solución stock de cloruro de calcio, hasta completar 3.78 litros (1 galón). Se debe usar agua destilada o desmineralizada para la preparación normal de la solución de trabajo. Sin embargo, si se ha determinado que el agua potable local es de tal pureza que no afecta los resultados de la prueba, se permite su uso en lugar de agua destilada o desmineralizada, excepto en caso de disputa.

Nota 6: Se debe establecer el efecto del agua potable del lugar sobre los resultados de los ensayos de equivalente de arena, comparando los resultados de tres pruebas empleando agua destilada con los de tres pruebas empleando agua potable. Las seis muestras usadas en la comparación se deben tomar de un mismo material secado al horno.

8 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

- 8.1** El material para ensayo se debe obtener por muestreo, según lo indicado en la norma INV E-201.
- 8.2** Se mezcla la muestra completamente y se reduce al tamaño conveniente, de acuerdo con el procedimiento de la norma INV E-202.
- 8.3** Se obtienen, al menos, 1500 g de material que pase el tamiz de 4.75 mm (No. 4), de la siguiente manera:
- 8.3.1** Se separa la muestra sobre el tamiz 4.75 mm (No. 4) por medio de un movimiento lateral y vertical del tamiz, acompañado de una acción de vibración, de manera de mantener la muestra en continuo movimiento sobre la superficie del tamiz. El tamizado se continúa hasta que no más de 1% en peso del residuo pase el tamiz durante 1 minuto. La operación se puede realizar a mano o con una tamizadora mecánica.
 - 8.3.2** Se desmenuzan los terrones para que pasen el tamiz de 4.75 mm (No. 4). Para ello, se usa un mortero con una maja de caucho u otro medio que no cause rotura de partículas ni degradación del agregado.
 - 8.3.3** Se remueven los finos adheridos al agregado grueso, secando las partículas superficialmente y frotándolas luego entre las manos sobre una bandeja plana.

8.3.4 Se juntan el material pasante del tamiz de 4.75 mm (No. 4), obtenido en el paso 8.3.2, con el obtenido en el paso 8.3.3, y se añaden a la porción ya separada de muestra.

8.4 Las muestras para el ensayo se preparan con el material que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4), empleando alguno de los procedimientos descritos en los numerales 8.4.1 u 8.4.2.

Nota 7: La experiencia muestra que a medida que disminuye la cantidad del material que está siendo reducida por división o cuarteo, también disminuye la exactitud en la provisión de porciones representativas. Por este motivo, es imperativo que la muestra sea dividida o cuarteada cuidadosamente.

8.4.1 Procedimiento A:

8.4.1.1 Si se considera necesario, se humedece la muestra para evitar la segregación o la pérdida de finos durante las operaciones de cuarteo. La adición de agua debe ser muy cuidadosa, con el fin de que se mantenga la condición de flujo libre del material.

8.4.1.2 Se sacan cuatro porciones de la muestra, usando el recipiente para medir el espécimen de ensayo. Cada vez que se saca una porción, se golpea el borde del fondo del recipiente sobre la mesa de trabajo o cualquier otra superficie dura, para producir la consolidación del material y permitir la colocación de la máxima cantidad de material en el recipiente.

8.4.1.3 Se determina y anota la cantidad de material contenido en cada una de estas porciones, bien sea pesándolas o midiéndolas en un cilindro plástico seco.

8.4.1.4 Se devuelve este material a la muestra y se procede a cuartearla, empleando procedimientos aplicables de la norma INV E-202, haciendo los ajustes necesarios para obtener el peso o volumen predeterminado. Cuando se obtenga estepeso o volumen, dos operaciones sucesivas de cuarteo sin ajuste deberán proporcionar la cantidad adecuada de material para llenar el recipiente de medida y, por lo tanto, proporcionar un espécimen de ensayo.

8.4.1.5 Se seca el espécimen en el horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$) y se deja enfriar a temperatura ambiente, antes de proceder al ensayo.

Nota 8: Los resultados de equivalente de arena sobre especímenes que no han sido secados al horno son, por lo general, menores que los de muestras idénticas que han sido secadas. Como recurso para ahorrar tiempo, se admite el ensayo de materiales húmedos, cuando el valor del equivalente de arena se va a emplear para determinar el cumplimiento de un valor mínimo exigido. Si el valor que se obtiene es menor que el especificado, será necesario repetir la prueba secando la muestra. Si el equivalente de arena de una muestra secada al horno es inferior al límite de la especificación, será necesario realizar dos pruebas adicionales con especímenes de la misma muestra. El equivalente de arena de una muestra debe determinar de la manera que se establece en la sección de cálculos de esta norma.

8.4.2 Procedimiento B:

8.4.2.1 Manteniendo la condición de flujo libre, se humedece el material lo suficiente para prevenir segregación o pérdida de finos.

8.4.2.2 Se cuartean de 1000 a 1500 g de material. Se mezclan totalmente con un palustre en una bandeja circular, llevando material hacia el centro a medida que el recipiente se rota horizontalmente. La mezcla se debe continuar durante un lapso no menor de 1 minuto, para asegurar la uniformidad. Se verifica la condición de humedad del material, apretando una pequeña porción de la muestra totalmente mezclada en la palma de la mano. Si se forma una masilla que puede ser manejada con cuidado, sin romperse, se ha obtenido el grado correcto de humedad. Si el material está demasiado seco, la masilla se desmorona y será necesario agregar agua y mezclar y probar de nuevo hasta que el material forme una masilla. Si el material escurre agua, está demasiado húmedo para ser ensayado y se deberá drenar y secar al aire, mezclándolo frecuentemente para asegurar su uniformidad. Este material demasiado húmedo formará una buena masilla al examinarlo inicialmente, de manera que el proceso de secado deberá continuar hasta que una prueba de apretón al material que se está secando produce una masilla que es más frágil y delicada de manipular que la original. Si el contenido de agua del material recién recibido se encuentra en el estado que se acaba de describir, la muestra se puede ensayar inmediatamente. Si la muestra fue alterada para lograr dicho estado, se deberá poner en la bandeja, cubierta con una tapa o una toalla húmeda que no toque el material, y se la deja reposar por 15 minutos.

- 8.4.2.3** Luego de este breve período de curado, se remezcla el material sin añadir agua. Cuando el material se encuentre perfectamente mezclado, se forma un cono con él, con ayuda de un palustre.
- 8.4.2.4** Se toma en una mano un recipiente para medir el espécimen y se lo empuja directamente a través de la base del cono de material, mientras la otra mano se apoya en el extremo opuesto del cono de material.
- 8.4.2.5** A medida que el recipiente recorre la pila de material y emerge de ella, se debe mantener una presión suficiente para asegurar que el recipiente queda lleno hasta rebosar. El exceso de material se deberá retirar, pasando un lado del palustre por el borde del recipiente.
- 8.4.2.6** Para obtener especímenes adicionales de ensayo, se repiten los pasos 8.4.2.3 a 8.4.2.5.

9 PREPARACIÓN DEL EQUIPO

- 9.1** Se ajusta el montaje del sifón a un botellón con 3.78 litros (1 galón) de la solución de trabajo de cloruro de calcio y se coloca el botellón en un estante situado 90 ± 5 cm (36 ± 2 ") por encima de la superficie de trabajo (Figura 133 - 5).

Nota 9: En lugar de un botellón se puede usar un tanque plástico o de vidrio de mayor capacidad, siempre y cuando el nivel de la solución de trabajo se mantenga entre 90 y 120 cm (36 a 48") por encima de la superficie de trabajo.

- 9.2** Se empieza a sifonar forzando aire dentro de la boca del frasco de solución a través del tubo irrigador acodado, mientras la abrazadera que corta el paso del líquido se encuentra abierta. El aparato se encuentra ahora listo para ser usado.

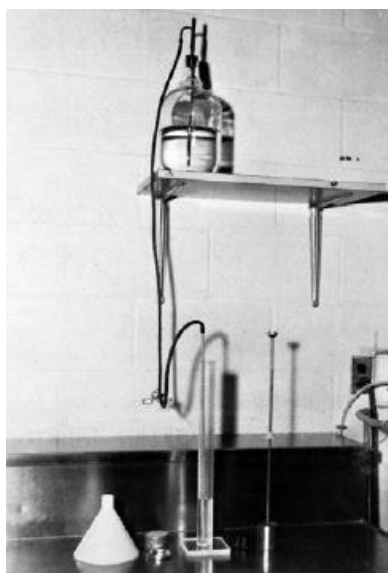


Figura 133 - 5. Cilindro graduado, tubo irrigador, dispositivos para tomar lecturas y sifón

10 PROCEDIMIENTO

- 10.1** Se vierte solución de trabajo de cloruro de calcio en el cilindro graduado, con la ayuda del sifón, hasta una altura de 101.6 ± 2.54 mm (4 ± 0.1 ").
- 10.2** Con ayuda del embudo, se vierte un espécimen de ensayo en el cilindro graduado (Figura 133 - 6).

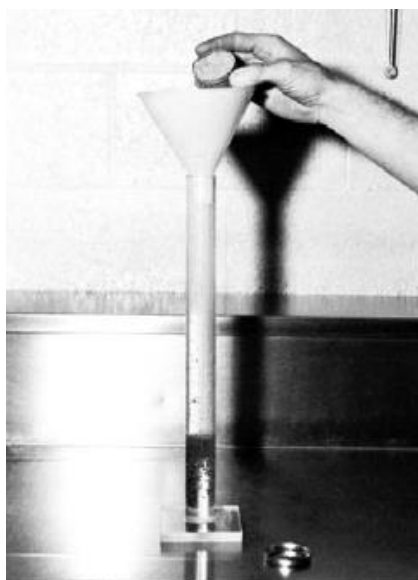


Figura 133 - 6. Transferencia del espécimen al cilindro graduado

10.3 Se golpea varias veces el fondo del cilindro con la palma de la mano para liberar las burbujas de aire y remojar la muestra completamente.

10.4 Se deja el cilindro en reposo durante 10 ± 1 minutos.

10.5 Al finalizar los 10 minutos (periodo de humedecimiento), se tapa el cilindro con el tapón y se afloja el material del fondo invirtiendo parcialmente el cilindro y agitándolo simultáneamente.

10.6 Después de aflojar el material del fondo, se agita el cilindro con cualquiera de los tres métodos siguientes:

10.6.1 *Método del agitador mecánico* – Se coloca el cilindro tapado en el agitador mecánico y se pone éste en funcionamiento durante 45 ± 1 s.

10.6.2 *Método del agitador manual:*

10.6.2.1 Se asegura el cilindro tapado con las tres pinzas de resorte del soporte del agitador manual y se pone el contador de vueltas en cero.

Nota 10: Para prevenir el escape de material, se debe verificar que el tapón esté firmemente colocado en el cilindro, antes de colocarlo en el agitador manual.

10.6.2.2 El operario se debe parar directamente enfrente del agitador y debe forzar el indicador hasta la marca límite de carrera pintada en el respaldo, aplicando un empujón horizontal brusco a la parte superior de la biela de acero resortada del lado derecho. Luego se retira la mano de la biela y se permite que la acción del resorte mueva el soporte y el cilindro en la dirección opuesta sin ayuda y sin impedimento alguno.

10.6.2.3 Se aplica suficiente fuerza a la biela de acero resortada desde el lado derecho durante la porción de empuje de cada ciclo, con el fin de llevar el indicador hasta la marca límite de recorrido, empujando la biela con la punta de los dedos para mantener un movimiento de oscilación suave (Figura 133 - 7). El centro de la marca del límite de carrera, está colocado para proveer la longitud adecuada de recorrido y su ancho proporciona los límites máximos admisibles de variación. La acción correcta de agitación se logra solamente cuando el extremo del indicador invierte su dirección dentro de los límites marcados. Si se usa solamente el movimiento del

antebrazo y la muñeca para mover el agitador, es posible mantener una agitación correcta con mayor facilidad.

10.6.2.4 Se continúa la acción de agitación hasta completar 100 ciclos.

10.6.3 *Método Manual:*

10.6.3.1 Se sostiene el cilindro en una posición horizontal, como se ilustra en la Figura 133 - 8, y se agita vigorosamente con un movimiento lineal horizontal de vaivén.

10.6.3.2 El cilindro se agita 90 ciclos en aproximadamente 30 segundos, empleando un recorrido de 229 ± 25 mm (9 ± 1 "). Un ciclo se define como un movimiento completo de vaivén. Para agitar el cilindro a esta velocidad, será necesario que el operario mueva únicamente los antebrazos, mientras mantiene el cuerpo y los hombros en posición de descanso.

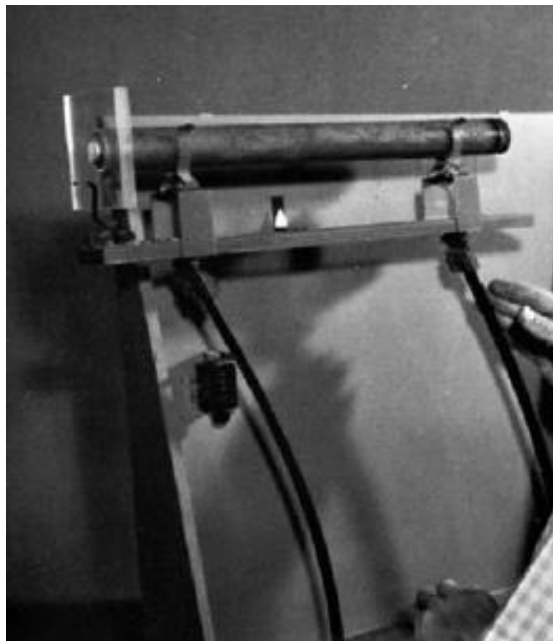


Figura 133 - 7. Operación del agitador manual

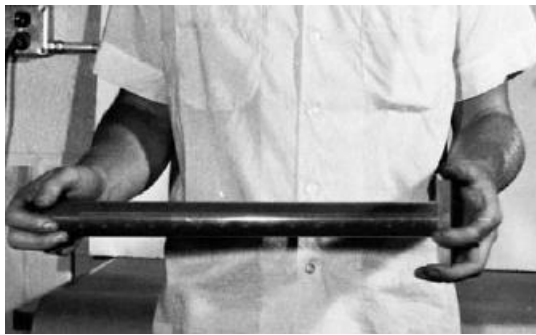


Figura 133 - 8. Método manual de agitación

10.7 Inmediatamente después de la operación de agitación, se coloca el cilindro en posición vertical sobre la mesa de trabajo y se remueve el tapón.

10.8 *Procedimiento de irrigación:*

10.8.1 Durante el procedimiento de irrigación se debe mantener el cilindro en posición vertical y su base en contacto con la superficie de trabajo. Se inserta el tubo irrigador dentro del cilindro, se afloja la pinza de presión de la manguera y se lava el material de las paredes del cilindro a medida que se baja el irrigador, el cual debe llegar, a través de la mezcla de suelo y solución de trabajo hasta el fondo del cilindro, aplicando suavemente una acción punzante y de giro mientras fluye solución de trabajo por la boca del irrigador. Esto impulsa hacia arriba el material fino que esté en el fondo y lo pone en suspensión sobre las partículas gruesas de arena (Figura 133 - 9).

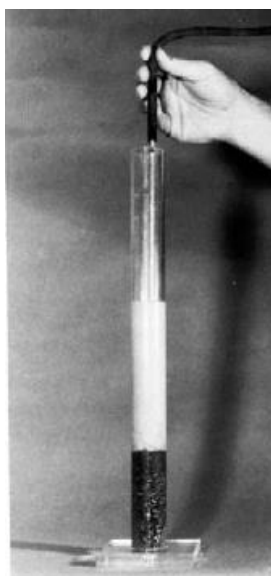


Figura 133 - 9. Procedimiento de irrigación

10.8.2 Se continúa aplicando la acción punzante y de giro mientras se lavan los finos, hasta que el cilindro esté lleno hasta la marca de 381 mm (15"); entonces, se levanta el tubo irrigador con suavidad sin que deje de fluir la solución, de tal forma que el nivel del líquido se mantenga cerca a dicha altura, mientras se extrae el tubo irrigador. El flujo se debe regular justamente antes de que el tubo irrigador sea completamente retirado, con el fin de ajustar el nivel final a la lectura de 381 mm (15").

10.9 Se deja en reposo el cilindro con su contenido durante $20 \text{ min} \pm 15 \text{ s}$. El tiempo se comienza a medir inmediatamente después de retirar el tubo irrigador.

10.10 *Determinación de la lectura de arcilla:*

10.10.1 Al finalizar los 20 minutos del periodo de sedimentación, se lee y anota el nivel de la parte superior de la suspensión arcillosa. Este valor se denomina "lectura de arcilla". Si no se ha formado una línea clara de demarcación al finalizar el periodo especificado de 20 minutos, se permite que la muestra permanezca sin ser perturbada hasta que se pueda obtener una lectura de arcilla; entonces, se lee y se anota inmediatamente la altura de la suspensión arcillosa y el tiempo total de sedimentación. Si éste último excede de 30 minutos, se debe realizar de nuevo el ensayo, usando tres especímenes individuales del mismo material. Solamente se debe anotar la lectura de la columna arcillosa del espécimen que requiera el menor tiempo de sedimentación.

10.11 *Determinación de la lectura de arena:*

10.11.1 Después de tomar la lectura de arcilla, se introduce dentro del cilindro el dispositivo para tomar lecturas, y se baja suavemente hasta que llegue sobre la arena. Se debe impedir que el dispositivo golpee la boca del cilindro, mientras se baja.

10.11.2 Cuando el disco de asentamiento (pie) descansa sobre la arena, se inclina el dispositivo hacia las graduaciones del cilindro, hasta que el indicador del dispositivo toca la pared del cilindro. Se restan 254 mm (10") al nivel marcado por el borde superior del indicador y se registra este valor como la "lectura de arena" (Figura 133 - 10).

Nota 11: En el Anexo A se muestra un ensamble alternativo para medir la lectura de arena.

10.11.3 Mientras se esté tomando la lectura de la arena, se debe tener cuidado de no presionar el dispositivo hacia abajo, pues ello conduce a una lectura errónea.

10.12 Cuando el nivel de las lecturas de arcilla o arena esté entre líneas de graduación de 0.1" (2.5 mm), se anotará la lectura correspondiente a la graduación inmediatamente superior. Por ejemplo, si la "lectura de arcilla" es 7.95 se anotará como 8.0. Una "lectura de arena" de 3.22, se anotará como 3.3.

10.13 Después de tomar las lecturas, se saca del cilindro el dispositivo de lectura, se tapa aquel con su tapón de caucho y se sacude hacia arriba y hacia abajo en posición invertida hasta que el material sedimentado se deshaga, y se vacía inmediatamente. El cilindro se deberá enjuagar con agua, al menos dos veces.



Figura 133 - 10. Lectura de arena

11 CÁLCULOS

11.1 El equivalente de arena (EA) se calculará con aproximación a la décima (0.1 %), así:

$$EA = \frac{\text{Lectura de arena}}{\text{Lectura de arcilla}} \times 100 \quad [133.1]$$

- 11.2** Si el valor obtenido en el cálculo no es un número entero, se debe redondear al número entero superior. Por ejemplo, si la lectura anotada de arcilla fue 8.0 y la lectura anotada de arena fue 3.3, el equivalente de arena será $(3.3/8.0) \times 100 = 41.2$. Como este valor no es entero, se redondeará a 42 y así será registrado en el informe.
- 11.3** Si se desea obtener el promedio de una serie de valores de equivalente de arena, se promedian los valores enteros determinados como se describió en el numeral 11.2 y si dicho promedio no es un número entero, se redondeará hacia el entero superior, como se muestra en el ejemplo siguiente:
- 11.3.1** Supóngase que tres determinaciones del equivalente de arena dieron los valores 41.2, 43.8 y 40.9.
- 11.3.2** Al redondear cada uno de ellos al valor entero superior, se convierten en 42, 44 y 41.
- 11.3.3** El promedio de estos valores será: $(44 + 42 + 41) = 42.3$
- 11.3.4** Como el valor obtenido no es entero, el equivalente de arena promedio de las tres muestras será, redondeado al entero superior, 43.

12 PRECISIÓN Y SESGO

- 12.1** *Precisión* – Los estimativos de precisión que se presentan a continuación, se obtuvieron en el laboratorio de materiales de referencia de la AASHTO. No hay diferencias significativas entre los resultados de los ensayos realizados con los dos procedimientos descritos en esta norma (Ver Sección 8). Los datos se basan en el análisis de ocho ensayos hechos por duplicado por un grupo de 50 a 80 laboratorios, en los cuales el equivalente de arena de las muestras osciló entre 60 y 90.
- 12.1.1** *Precisión de un solo operador* – Se halló que la desviación estándar (1s) de un solo operario era de 1.5 para valores de equivalente de arena mayores de 80, y de 2.9 para valores menores. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos bien ejecutados por el mismo operario

sobre muestras del mismo material, no deberían variar más de 4.2 y 8.2, respectivamente (d2s).

12.1.2 *Precisión entre varios laboratorios* – Se halló que la desviación estándar (1s) entre laboratorios era de 4.4 para valores de equivalente de arena mayores de 80, y de 8.0 para valores menores. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos bien ejecutados por diferentes laboratorios sobre muestras del mismo material, no deberían variar más de 12.5 y 22.6, respectivamente (d2s).

12.1.3 Hay otros datos disponibles sobre precisión, provenientes de un estudio adelantado por una entidad gubernamental norteamericana, el cual involucró pares de muestras sometidas a ensayo en 20 laboratorios y en tres ocasiones diferentes, cuyo contenido de finos era mayor que el de las referidas en el numeral 12.1, y cuyo equivalente de arena osciló entre 30 y 50. La desviación estándar de dichos ensayos entre laboratorios fue 3.2 (1s). Por lo tanto, en los laboratorios de esa agencia, los resultados de 2 ensayos bien hechos sobre muestras del mismo material no deberían diferir en más de 9.1 (d2s).

12.2 *Sesgo* – El procedimiento descrito en esta norma no tiene sesgo, por cuanto el equivalente de arena sólo se define en términos del método de ensayo.

13 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 2419 – 09

ANEXO A (Aplicación obligatoria)

PROCEDIMIENTO DE LECTURA CUANDO SE EMPLEA EL DISPOSITIVO PARA TOMAR LECTURAS MODELO 1969

A.1 Si se va usar dispositivo modelo 1969 (Figura 133A - 1) para tomar la “lectura de arena”, se procede como se indica a continuación.

A.1.1 Luego de que se ha tomado la “lectura de arcilla”, se introduce el dispositivo con suavidad hasta que su disco de asentamiento (pie) quede apoyado sobre la arena. Mientras el dispositivo está

descendiendo, se pone uno de los tornillos de su pie en contacto con el cilindro, cerca de las graduaciones, de manera que se pueda ver durante todo el tiempo en que descienda el dispositivo. Cuando el pie descansa sobre la arena, se lee el nivel de la ranura del tornillo y se anota como "lectura de arena".

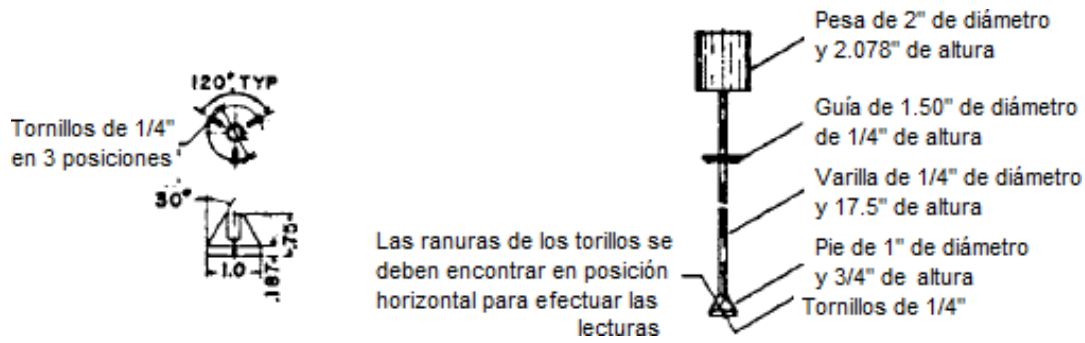


Figura 133A - 1. Dispositivo modelo 1969 para tomar lecturas de arena