

## EQUIVALENTE DE ARENA, SUELOS Y AGREGADOS FINOS

### MTC E 114 - 2000

Este Modo Operativo está basado en las Normas ASTM D 2419 y AASHTO T 176, las mismas que se han adaptado al nivel de implementación y a las condiciones propias de nuestra realidad. Cabe indicar que este Modo Operativo está sujeto a revisión y actualización continua.

Este Modo Operativo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del Usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación.

#### 1. OBJETIVO

Determinar la proporción relativa del contenido de polvo fino nocivo, o material arcilloso, en los suelos o agregados finos. Es un procedimiento rápido del campo.

#### 2. APARATOS

**2.1** *Cilindro graduado de plástico*, con diámetro interior de  $31,75 \pm 0,381$  mm ( $1 \frac{1}{4} \pm 0,015$ " ) y altura de 431,8 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 101,6 x 101,6 x 12.7 mm (4" x 4" x 1/2") bien asegurada al mismo, como se muestra en la Figura 1. (Montaje B).

**2.2** *Tapón macizo de caucho o goma*, que ajuste en el cilindro.

**2.3** *Tube irrigador*, de acero inoxidable, de cobre o de bronce, de 6,35 mm (1/4 de diámetro exterior y 0,89 mm (0,035") de espesor, con longitud de 508 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 1 (detalles).

**2.4** *Tube flexible* (de plástico o caucho) de 4,7 mm (3/16") de diámetro y de 1,20 m de largo, aproximadamente, con una pinza que permita cortar el paso del líquido a través del mismo. Este tubo conecta el sifón con el tubo irrigador.

**2.5** *Dos botellas de 3,785 l* (1 galón) de capacidad, el primero destinado a contener la solución de trabajo de cloruro de calcio; el tapón de este frasco lleva dos orificios, uno para el tubo del sifón y el otro para entrada de aire; el frasco debe colocarse a  $915 \pm 25$  mm ( $36 \pm 1$ " ) de altura sobre la mesa de trabajo. Mientras que el segundo destinado para contener la solución Stock.

**Nota 1.** Puede usarse 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 1,14 metros (36" y 45") por encima de la superficie de trabajo.

**2.6 Dispositivo para tomar lecturas.** Un conjunto formado por un disco de asentamiento, una barra metálica y una sobrecarga cilíndrica. Este dispositivo está destinado a la toma de lecturas del nivel de arena y tendrá un peso 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; la cara superior de este disco de asentamiento es de forma cónica. El disco lleva tres tornillos pequeños que sirven para centrarlo en el interior del cilindro.

**2.7 Recipiente metálico,** de diámetro 57 mm (2 1/4") aproximadamente, con una capacidad de  $85 \pm 5$  ml.

**2.8 Embudo,** de boca ancha, de 100 mm (4") de diámetro.

**2.9 Reloj o cronómetro,** para lecturas de minutos y segundos.

**2.10 Un agitador,** que puede ser:

- Mecánico, que tenga una carrera de  $203,2 \pm 1,02$  mm ( $8,00 \pm 0,04$ ") y que opere a  $175 \pm 2$  ciclos por minuto ( $2,92 \pm 0,03$ Hz)

**Nota 2.** El agitador mecánico debe estar provisto de dispositivos de seguridad para protección del operador.

- De operación manual. Que sea capaz de producir un movimiento oscilatorio a una razón de 100 ciclos completos en  $45 \pm 5$  segundos, con ayuda manual y un recorrido medio de  $127 \pm 5$  mm ( $5,0 \pm 0,2$ ").

### 3. SOLUCIONES

**3.1** La solución Stock tipo cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ), se prepara de la siguiente forma:

- 454 g (1 lb) de cloruro de calcio anhidro.
- 2050 g (1 640 ml) de glicerina Q.P.
- 47g (45 ml) de formaldehído (en solución al 40 % en volumen).



- Preparación. Se disuelve la cantidad indicada de cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) en 1,90 l (1/2 galón) de agua destilada. Se deja enfriar esta solución y se pasa por papel de filtro rápido. A la solución filtrada se agregan los 2050 g de glicerina y la cantidad indicada de formaldehído. Se mezcla bien y se diluye hasta que la solución llegue a los 3,785 l (1 galón) de volumen. El agua que se adiciona a esta solución será igualmente destilada.

**3.2** Solución de trabajo de cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) Se obtiene con 88 ml de la solución Stock, diluida en agua destilada hasta completar 3 785 l (1 galón).

**Nota 3.** Se podrá usar agua potable o desmineralizada en lugar de agua destilada, siempre que no se afecten los resultados del ensayo. El efecto de estas aguas puede determinarse por comparación de resultados de tres ensayos efectuados utilizando agua destilada y local. Los seis especímenes de ensayo empleados para esa comparación deben prepararse de la misma muestra de material secada al horno.

#### 4. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

**4.1** Obténganse al menos 1 500 g de material que pase el tamiz de 4,76 mm (No. 4), de la siguiente forma:

- Sepárese la muestra por tamizado a mano o por medio de un tamizador mecánico.
- Antes de seleccionar la muestra de ensayo se deben desmenuzar todos los terrones de material fino.
- Remuévase cualquier cubierta de finos que se adhiera al agregado grueso: estos finos pueden ser removidos por secado superficial del agregado grueso, y frotación entre las manos sobre un recipiente plano. Añádase el material así removido a la porción fina de la muestra.

**4.2** Para determinar la cantidad del material para el cuarteo, se pesará o se determinará el volumen de una porción de material igual a 4 moldes de medida, en la siguiente forma:

- Humedézcase el material para evitar segregación o pérdida de finos durante el proceso de separación o cuarteo, teniendo cuidado, al adicionar agua a la muestra, para mantener una condición de flujo libre de material.
- Usando el recipiente de medida, sáquense cuatro (4) de esas medidas de la muestra.

Cada vez que obtenga una medida golpéese la parte inferior del recipiente sobre una superficie dura al menos cuatro (4) veces, para obtener una medida de material consolidado hasta el borde del recipiente.

- Determínese la cantidad de material contenido en estas cuatro (4) mediciones, ya sea por peso o por volumen del cilindro plástico.
- Retórnese este material a la muestra y realícese el cuarteo haciendo los ajustes necesarios para obtener el peso o el volumen anteriormente determinado. De este cuarteo se debe obtener, en los siguientes cuarteos, la cantidad suficiente de muestra para llenar la medida.
- Séquese cada espécimen de muestra hasta peso constante a  $105 \pm 5$  °C ( $230 \pm 9$  °F) y enfríese a temperatura ambiente antes de empezar el ensayo.

**Nota 4.** Los resultados del ensayo del equivalente de arena en muestras que no han sido secadas, generalmente serán menores que los resultados obtenidos de muestras de ensayo idénticas que han sido secadas.

Cuando el ensayo se efectúe para controlar el cumplimiento de las especificaciones, puede permitirse, en muchos casos, ejecutarlos sin antes secar el material. Sin embargo, aquellos materiales que den valores menores que el mínimo especificado, deben volverse a ensayar con el material secado al horno. Si el equivalente de arena determinado en un ensayo con una muestra seca está por debajo del mínimo, será necesario realizar dos (2) ensayos adicionales con especímenes secos de la misma muestra.

#### 4.3 Prepárese el número deseado de especímenes de la muestra de ensayo, así:

- Humedézcase el material para evitar segregación o pérdidas de finos, manteniendo una condición de flujo libre.
- Sepárense por cuarteo de 1000 a 1500 g de muestra. Colóquese en un recipiente circular y mézclese hacia el centro, por lo menos durante 1 minuto, para lograr uniformidad. Revísese que la muestra tenga la humedad necesaria, exprimiendo firmemente una porción pequeña de la muestra en la palma de la mano. Si se forma una masilla que puede ser manejada con cuidado sin romperse, está en el rango correcto de humedad.

Si la muestra está demasiado seca, se desmoronará y será necesario añadir agua, volver a mezclarla y probar nuevamente hasta que el material forme una masilla plástica. Si la muestra presenta agua libre superficial estará demasiado húmeda y deberá secarse al aire, mezclándola

frecuentemente para asegurar uniformidad y ensayándola nuevamente, hasta obtener una masilla que se pueda manejar.

Si el contenido de humedad al recibo de la muestra se encuentra dentro de los límites descritos anteriormente, la muestra puede ensayarse de inmediato. Si el contenido de humedad se debe modificar para su empleo, la muestra debe colocarse en un recipiente y cubrirse con una toalla húmeda, en forma tal que no toque el material y dejarla allí por 15 minutos, como mínimo.

- Después del tiempo mínimo de curado, mézclase nuevamente por 1 minuto sin agregar agua y fórmese un cono con el material, utilizando un palustre.
- Tómese el recipiente de medida en una mano y presiónese contra la base del cono mientras se sostiene a éste con la mano libre.
- A medida que el recipiente atraviesa el cono manténgase suficiente presión en la mano para que el material lo llene por completo. Presiónese firmemente con la palma de la mano compactando el material hasta que éste se consolide, el exceso debe ser retirado y desechado, enrasando con el palustre a nivel del borde del recipiente.
- Para obtener especímenes adicionales, repítanse los pasos anteriores.

## 5. PROCEDIMIENTO

**5.1** Viértase solución de trabajo de cloruro de calcio en el cilindro de plástico graduado, con la ayuda del sifón, hasta una altura de  $101,6 \pm 2,54$  mm ( $4 \pm 0,1$ ").

**5.2** Con ayuda del embudo, viértase la muestra de ensayo en el cilindro graduado. Golpéese varias veces el fondo del cilindro con la palma de la mano para liberar las burbujas de aire y remojar la muestra completamente. Déjese en reposo durante  $10 \pm 1$  minuto.

Al finalizar los 10 minutos (Periodo de humedecimiento), tápese el cilindro con un tapón y suéltese el material del fondo invirtiendo parcialmente el cilindro y agitándolo a la vez.

**5.3** Después de soltar el material del fondo, agítase el cilindro con cualquiera de los métodos siguientes:

- Método del agitador mecánico: colóquese el cilindro tapado en el agitador mecánico y déjese en funcionamiento por un tiempo de  $45 \pm 1$  seg.

- Método del agitador manual: asegúrese el cilindro tapado con las tres pinzas de resorte, sobre el soporte del agitador manual, y póngase el contador de ciclos en cero.

**Nota 5.** Para prevenir el derramamiento, asegúrese de que el tapón esté firmemente colocado en el cilindro, antes de colocarlo en el agitador manual.

Párese directamente frente al agitador y fuécese el soporte hasta colocar el índice sobre la marca límite del émbolo pintada en el tablero, aplicando una fuerza horizontal sobre la biela resortada del lado derecho. Luego retírese la mano de la biela y permítase que la acción del resorte de ésta mueva el soporte y el cilindro en la dirección opuesta sin ayudarlo y sin impedimento alguno. Aplíquese suficiente fuerza a la biela resortada, con la mano derecha, durante el recorrido con empuje para llevar el índice hasta la marca límite del émbolo, empujando la biela con la punta de los dedos para mantener un movimiento de oscilación suave. El centro de la marca del límite de carrera está colocado para proveer la longitud adecuada de movimiento y su ancho se ajusta al máximo de variación permitida. La cantidad correcta de agitación se logra solamente cuando el extremo del índice invierte su dirección dentro de los límites marcados. Una correcta agitación puede mantenerse mejor al usar solamente el movimiento del antebrazo y la muñeca para mover el agitador. Continúe la acción de agitación hasta completar 100 golpes.

- Método manual: sosténgase el cilindro en una posición horizontal y agítase vigorosamente con un movimiento lineal horizontal de extremo a extremo. Agítase el cilindro 90 ciclos en aproximadamente 30 segundos, usando un movimiento de  $229 \pm 25$  mm ( $9 \pm 1$ " ). Un ciclo está definido como movimiento completo hacia adelante y hacia atrás. Para agitar el cilindro a esta velocidad, será necesario que el operador mueva únicamente los antebrazos mientras mantiene el cuerpo y los hombros descansados o relajados.

**5.4** Inmediatamente después de la operación de agitación, colóquese el cilindro verticalmente sobre la mesa de trabajo y remuévase el tapón.

#### **5.5** Procedimiento de irrigación.

- Durante el procedimiento de irrigación manténgase el cilindro vertical y la base en contacto con la superficie de trabajo. Colóquese el tubo irrigador en la parte superior del cilindro, aflójese la pinza de la manguera y lávese el material de las paredes del cilindro a medida que baja el irrigador, el cual debe llegar a través del material, hasta el fondo del cilindro, aplicando suavemente una acción de presión y giro mientras que la solución de trabajo fluye 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.

- Continúese aplicando una acción de presión y giros mientras se lavan los finos, hasta que el cilindro esté lleno a la altura de 381 mm (15"); entonces, levántese el tubo irrigador suavemente 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.

(Regúlese el flujo justamente antes de que el tubo irrigador sea completamente sacado, y ajústese el nivel final a la lectura de 381 mm (15").

**5.6** Déjese el cilindro y el contenido en reposo por 20 min  $\pm$  15 s. Comiencese a medir el tiempo inmediatamente después de retirar el tubo irrigador.

**5.7** Al finalizar los 20 minutos del período de sedimentación, léase y anótese el nivel de la parte superior de la suspensión arcillosa, tal como se indica en el numeral 5.9.

Este valor se denomina "lectura de arcilla". Si no se ha formado una línea clara de demarcación al finalizar el período especificado de 20 minutos, permítase que la muestra permanezca sin ser perturbada hasta que una lectura de arcilla pueda ser claramente obtenida; entonces, léase inmediatamente y anótese la altura de la suspensión arcillosa y tiempo total de sedimentación. Si este último excede de 30 minutos, efectúese nuevamente el ensayo, usando tres especímenes individuales de la misma muestra y anótese la lectura de la columna arcillosa para la muestra que requiera el menor tiempo de sedimentación.

**5.8** Determinación de la lectura de la arena.

- Después de tomar la lectura de arcilla, introdúzcase dentro del cilindro el conjunto del disco, la varilla y el sobrepeso, y baje suavemente el conjunto hasta que llegue sobre la arena. Evítese que el disco indicador de lectura golpee la boca del cilindro, mientras se baja el conjunto. A medida que el conjunto baje, manténgase uno de los tornillos de centraje del pie en contacto con la pared del cilindro sobre las graduaciones, de manera que sirva de índice para la lectura.
- Cuando el conjunto toque la arena, léase y anótese el de la ranura del tornillo, la cual se denominará "lectura de arena". Si la lectura se hace con él disco indicador, la "lectura de arena" se obtendrá restando 254 mm (10") del nivel indicado por el borde superior del indicador.

**5.9** Cuando el nivel de las lecturas, de arcilla o arena, esté entre líneas de graduación, se anotará la lectura correspondiente a la graduación inmediatamente superior. Por ejemplo, si un nivel de arcilla es 7,95 se anotará como 8,0. Un nivel de arena de 3,22, se anotará como 3,3.

**5.10** Después de tomar las lecturas, sáquese el conjunto del cilindro, tape éste con su tapón de goma y sacúdase hacia arriba y hacia abajo en posición invertida hasta que el material sedimentado se deshaga y vacíese inmediatamente. Enjuáguese la probeta con agua dos veces.

## 6. CÁLCULOS

6.1 El equivalente de arena se calculará con aproximación al décimo (0.1%), así:

$$\text{Equivalente de Arena (EA)} = \frac{\text{Lectura de arena}}{\text{Lectura de arcilla}} \times 100$$

6.2 Si el equivalente de arena no es un número entero, anótese en el informe redondeando la fracción al número inmediato superior.

Por ejemplo si la “lectura de arcilla” es 8 y la “lectura de Arena” es 5,3 entonces el equivalente Arena es:

$$(5,3 / 8) \times 100 = 66,3$$

Desde que este Equivalente Arena no es un número entero, él se informaría como el próximo número entero mas alto que es 67.

6.3 Para obtener el promedio de una serie de valores de equivalente de arena, promédiese el número de valores enteros determinados como se describió anteriormente. Al igual que el caso anterior el Equivalente Arena Resultante debe ser redondeado al número inmediato superior.

Así por ejemplo:

Equivalentes Arenas calculadas: 42,1, 43,6 y 42,8

Equivalente Arena redondeadas al Número Entero inmediato superior: 43, 44, 43

Determinese el promedio de estos valores como sigue:

$$EA = (43+44+43) / 3 = 43,3$$

Desde que el valor promedio no es un numero entero entonces para ser reportado, se deberá redondear este al entero inmediato superior, tal es el caso.

$$EA = 44\%$$

## 7. OBSERVACIONES

7.1 La temperatura de la solución de trabajo deberá ser  $22 \pm 3$  °C ( $72 \pm 5$  °F) durante la realización de este ensayo.

**Nota 6.** Si las condiciones de campo no permiten el mantenimiento del intervalo de temperatura establecido, se deben enviar muestras al laboratorio, donde es posible un control de las mismas, con la frecuencia que sea necesaria.

También es posible realizar una corrección por temperatura para el material que esté siendo ensayado, con las curvas de temperatura desarrolladas para dicho material, en sitios donde no sea posible realizar un control apropiado. Sin embargo, no existen curvas de corrección generales que puedan ser utilizadas para diferentes tipos de material, incluso en rangos estrechos de valores del equivalente de arena. Las muestras que satisfagan los equivalentes de arena mínimos a una temperatura de la solución de trabajo inferior al intervalo recomendado, no necesitan ser sometidas a ensayos de referencia.

**7.2** El ensayo debe realizarse en un sitio donde no exista vibración. La excesiva vibración puede hacer que el material suspendido se sedimente a una mayor velocidad.

**7.3** No se deben exponer los cilindros plásticos a la luz directa del sol más de lo necesario.

**7.4** Cuando las perforaciones del tubo del irrigador se obstruyan por partículas de arena, si no es posible suprimir la obstrucción de otra manera, podrá hacerse con un alfiler u otro objeto agudo, teniendo mucho cuidado para evitar que se ensanche el orificio.

**7.5** Ocasionalmente puede ser necesario remover un crecimiento de hongos que se forman en las paredes del frasco de solución de trabajo y en el interior de la manguera y del tubo irrigador. Esto puede hacerse por medio de una solución disolvente de hipoclorito de sodio, diluida en agua por partes iguales.

- Para eliminar esta formación de hongos, debe llenarse el frasco con la solución disolvente y dejar pasar aproximadamente un litro de la misma por el sifón y el irrigador; luego se corta el paso de la corriente líquida colocando la pinza al final de la manguera teniéndola llena de solución disolvente.

Vuélvase a llenar el frasco con la solución y déjese durante toda la noche. Después, descárguese la solución disolvente por medio del sifón y el tubo irrigador, sepárese el sifón del frasco y enjuáguese ambos con agua limpia. El irrigador y el sifón se lavan fácilmente, conectándolos a una llave de agua mediante una manguera delgada y dejando pasar el chorro de agua fresca a través de ellos, en sentido contrario al flujo normal.

**7.6** Cuando se tomen las lecturas de arena debe tenerse cuidado de no presionar hacia abajo, ya que esto puede ocasionar una lectura errada.

## 8. PRECISIÓN

**8.1** La ejecución de este ensayo requiere que el laboratorista tenga experiencia, de manera que pueda obtener resultados consistentes y satisfactorios con muestras representativas de cualquier clase de material, cuando el ensayo se realiza de acuerdo con lo prescrito.

**8.2** Se considerará un laboratorista con experiencia cuando los resultados obtenidos por éste, en tres ensayos independientes, con el mismo espécimen de muestra, no varíe en  $\pm 4$  puntos respecto al promedio de estos ensayos.

**8.3** Si un operador no es capaz de obtener resultados consistentes, no debe realizar el ensayo hasta perfeccionar la técnica suficiente para lograr resultados dentro de los límites especificados.

**8.4** El laboratorista que utiliza el procedimiento del agitador manual debe tener experiencia para manipular este instrumento, a fin de que los resultados que obtenga coincidan, aproximadamente, con los obtenidos con el agitador mecánico.

**9. REFERENCIAS NORMATIVAS**

ASTM	D 2419
AASHTO	T 176

**Lista de materiales**

Ensamblaje	Parte N°	Descripción	Material	Tamaño
<b>A</b>		<b>Conjunto del sifón</b>		
	1	Tubo del sifón	Tubo de cobre (puede ser niquelado)	6,4 $\Phi$ x 400
	2	Manguera del sifón	Tubo de caucho (goma pura o equiv.)	4,8 $\Phi$ I X 1 220
	3	Manguera de purga	Tubo de caucho (goma pura o equiv.)	4,8 $\Phi$ I x 50,8
	4	Tubo de purga	Tubo de cobre (puede ser niquelado)	6,4 $\Phi$ x 50,8
	5	Tapón con dos agujeros	Caucho	N° 6
	6	Tubo irrigador		6,4 $\Phi$ E x 0,89wal x500 55 tube, Tipo 316
	7	Abrazadera		De compresión, Day, BKH N° 21730 o Equivalente.
<b>B</b>		Conjunto de la probeta graduada		

	8	Tubo	Acrílico transparente	38,1 $\Phi$ E x430
	9	Base	Acrílico transparente	12,7x102x102
<b>C</b>		Conjunto para lectura de arena		
	10	Indicador de lectura de arena	Nylon 101 tipo 66 templado	6,4 $\Phi$ x14,9
	11	Barra	Bronce (puede ser niquelada)	6,4 $\Phi$ x 438,2
	12	Pesa	Acero (puede ser niquelada)	50,8 $\Phi$ x52,78
	13	Pasador	Metal resistente a la corrosión	0,16 $\Phi$ x 12,7
	14	Pie	Bronce	0,16Hex x13,7
	15	Tapón sólido	Caucho (puede ser niquelado)	Nº 7

$\Phi$ =Diámetro I = Interno E = Externo

**Nota A.** En el conjunto B la precisión de la escala debe ser de  $\pm 0.25$  mm ( $\pm 0.010$ " ) por 2.5 mm (0.1")

**Nota B.** Conjunto B. Las graduaciones del cilindro deben ser en 2.5 mm (0.1") y las marcas de 25.4 mm (1") deben designarse numéricamente como se indica en la Figura 1. Las líneas divisorias de 25.4 mm (1") y 12.7 mm (0.5") deben ser de aproximadamente 6.35 mm (0.25") de longitud. Todas las líneas divisorias serán de 0.38 mm (0.015") de profundidad con ancho en la superficie de 0.76 mm (0.030").

**Nota C.** Conjunto C. El peso del conjunto incluyendo la pesa será de  $1.000 \pm 5$  gr.