

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE VACÍOS EN AGREGADOS FINOS NO COMPACTADOS (INFLUENCIADO POR LA FORMA DE LAS PARTÍCULAS, LA TEXTURA SUPERFICIAL Y LA GRANULOMETRÍA)

INV E – 239 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma se refiere a la determinación del contenido de vacíos de una muestra de agregado fino no compactada. Cuando se mide en cualquier agregado de gradación conocida, el contenido de vacíos provee una indicación de la angulosidad, la esfericidad y la textura superficial de ese agregado, que se pueden comparar con las de otros agregados finos ensayados con la misma gradación. Cuando se mide el contenido de vacíos de un agregado fino con la gradación con la cual se recibe, este puede ser un indicador del efecto del agregado fino sobre la manejabilidad de una mezcla en la cual se piensa emplear.
- 1.2** La norma incluye tres procedimientos para la medida del contenido de vacíos. Dos de ellos usan agregados finos gradados (gradación estándar o gradación tal como es recibida), y el otro usa varias fracciones de tamaños individuales para la determinación del contenido de vacíos:
- 1.2.1** *Muestra con gradación estándar (Método de prueba A)* – Este método de ensayo usa una gradación estándar de agregado fino, la cual se obtiene combinando fracciones a partir de un análisis por tamizado típico de un agregado fino. Ver Sección 7.
- 1.2.2** *Fracciones de tamaño individual (Método de prueba B)* – Este método de ensayo usa cada una de tres fracciones de tamaño de agregados finos: (a) 2.36 mm (No. 8) a 1.18 mm (No. 16); (b) 1.18 mm (No. 16) a 600 μm (No. 30); y (c) 600 μm (No. 30) a 300 μm (No. 50). Para este método, cada tamaño se ensaya separadamente.
- 1.2.3** *Gradación de la muestra tal como se recibe (Método de prueba C)* – Este método usa la porción de agregado que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4).
- 1.3** Esta norma reemplaza la norma INV E–239–07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1** Un recipiente cilíndrico calibrado de 100 ml nominales se llena con un agregado fino de gradación prescrita, permitiendo que la muestra fluya a través de un embudo desde una altura fija dentro del recipiente. El agregado fino se extrae del recipiente y se pesa para determinar su masa. El contenido de vacíos sin compactar se calcula como la diferencia entre el volumen del medidor cilíndrico y el volumen absoluto del agregado fino recogido en el medidor. El contenido de vacíos del agregado fino sin compactar se calcula usando la densidad relativa seca (gravedad específica) del agregado fino. Se hacen dos medidas con cada muestra y los resultados se promedian.
- 2.1.1** Para una muestra gradada (Métodos de prueba A o C) el contenido porcentual de vacíos se determina directamente y se reporta el valor promedio de las dos medidas.
- 2.1.2** Para las fracciones de tamaño individual (Método de prueba B), el contenido porcentual de vacíos promedio se calcula usando los resultados de cada una de las 3 fracciones de tamaño individual.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** Los métodos de prueba A y B proveen el contenido porcentual de vacíos bajo condiciones estandarizadas, las cuales dependen de la forma de las partículas y de la textura del agregado fino. Un incremento en el contenido de vacíos en estos procedimientos indica una mayor angulosidad, menor esfericidad, o una textura de superficie más áspera, o una combinación de ellas. Una reducción en el contenido de vacíos se asocia con un agregado fino más redondeado, esférico, o con una superficie más lisa, o la combinación de ellos.
- 3.2** El método de prueba C mide el contenido de vacíos del agregado sin compactar de la porción menor a 4.75 mm (No. 4) del material tal como se recibe. Este contenido de vacíos depende tanto la gradación, como de la forma y la textura de las partículas.
- 3.3** El contenido de vacíos determinado en la muestra con gradación estándar (Método de prueba A) no es comparable directamente con el promedio de contenido de vacíos de las tres fracciones de tamaño individual de la misma muestra, probadas por separado (Método de prueba B). Una muestra compuesta por partículas de un solo tamaño tendrá un contenido de vacíos

mayor que una muestra graduada. Por lo tanto, se debe usar un método o el otro como una medida comparativa de la forma y la textura, e identificar qué método se usó para registrar los datos reportados. El método de prueba C, no suministra una indicación de la forma y de la textura directamente si cambia la gradación de una muestra a otra.

- 3.3.1** El método de muestra con gradación estándar (Método de prueba A) es el más útil como prueba rápida indicativa de las propiedades de forma de las partículas de un agregado fino graduado. Típicamente, el material usado para componer la muestra con gradación estándar se puede obtener de las fracciones que quedan después de realizar el análisis granulométrico del agregado fino.
 - 3.3.2** La obtención y ensayo de las fracciones de tamaño individual (Método de prueba B), demanda más tiempo y requiere una muestra inicial más grande que cuando se ensaya la muestra gradada. Sin embargo, el método de prueba B provee información adicional, relacionada con las características de forma y textura de los tamaños individuales.
 - 3.3.3** Las muestras de prueba con la gradación tal como se recibe (Método de prueba C), pueden ser útiles para seleccionar proporciones de componentes usados en una variedad de mezclas. En general, un alto contenido de vacíos sugiere que el material puede ser mejorado suministrando finos adicionales en el agregado fino o incorporando un material más cementante para llenar los vacíos entre las partículas.
 - 3.3.4** Para calcular el contenido de vacíos, se usa la densidad relativa seca (gravedad específica) del agregado fino. La efectividad de estos métodos para determinar el contenido de vacíos y su relación con la forma y la textura de las partículas depende de que las gravedades específicas de las diferentes fracciones de tamaño sean iguales o casi iguales. El contenido de vacíos es, de hecho, una función del volumen de cada fracción de tamaño. Si el tipo de roca o mineral o la porosidad de alguna de las fracciones de tamaño varían sustancialmente, puede ser necesario determinar separadamente la gravedad específica de cada una de las fracciones usadas en la prueba.
- 3.4** La información del contenido de vacíos de los métodos A, B o C será útil como indicador de propiedades tales como: la demanda de agua en las mezclas de concreto hidráulico; factores de fluidez, bombeo o manejabilidad cuando se formulan lechadas o morteros; el efecto del agregado fino sobre la estabilidad y los vacíos en el agregado mineral (VAM) de concretos asfálticos; y la estabilidad de la porción de agregado fino de una base granular.

4 EQUIPO

- 4.1** *Recipiente cilíndrico* – Un cilindro recto de unos 100 ml de capacidad, que tenga un diámetro interno de aproximadamente 39 mm y una altura interna aproximada de 86 mm, hecho de tubo de agua de cobre tensado en frío, que cumpla las exigencias para los tipos C ó M de la especificación ASTM B 88. El fondo del recipiente deberá ser de metal, de al menos 6 mm de espesor, perfectamente sellado con el tubo, y deberá disponer de los medios para alinear el eje del cilindro con el eje del embudo. Ver Figura 239 - 1.
- 4.2** *Embudo* – La superficie lateral de un tronco de cono con una pendiente de $60 \pm 4^\circ$ con respecto a la horizontal, con una abertura de 12.7 ± 0.6 mm de diámetro. La sección del embudo deberá ser una pieza de metal, lisa por dentro y de al menos 38 mm de alto. Deberá tener un volumen no menor de 200 ml o disponer de un complemento de vidrio o de metal para suministrar el volumen requerido. Ver Figura 239 - 2.
- 4.3** *Soporte del embudo* – Un soporte de 3 o 4 patas, capaz de sostener el embudo firmemente en posición con el eje de éste alineado (dentro de un ángulo de 4° y un desplazamiento de 2 mm) con el eje del recipiente cilíndrico. La abertura del embudo deberá estar 115 ± 2 mm sobre el borde superior del cilindro. La Figura 239 - 2 muestra una configuración apropiada.
- 4.4** *Placa de vidrio* – Un placa cuadrada de vidrio, de aproximadamente 60 mm por 60 mm, con un espesor mínimo de 4 mm, usada para calibrar el medidor cilíndrico.
- 4.5** *Bandeja* – Una bandeja de metal o plástico, lo suficientemente grande para contener el soporte del embudo y prevenir pérdida de material. El propósito de la bandeja es capturar y retener las partículas del agregado fino que se desborden del medidor cilíndrico durante el llenado y la remoción del material.
- 4.6** *Espátula de metal* – Con una hoja de aproximadamente 100 mm de largo y al menos 20 mm de ancho, con bordes rectos. El extremo de la espátula deberá cortar los bordes en ángulo recto. El borde recto de la hoja de la espátula se usa para remover el agregado fino.
- 4.7** *Balanza* – De ± 0.1 g, de exactitud de lectura, con una capacidad dentro del rango de uso, capaz de pesar el recipiente cilíndrico y su contenido.

5 MUESTREO

- 5.1 Las muestras usadas para cada prueba se deben obtener de acuerdo con las normas INV E-201 e INV E-202, o son muestras provenientes de análisis por tamizado usadas para la norma INV E-213, o del agregado extraído de un espécimen de concreto asfáltico. Para los métodos A y B, la muestra se lava sobre un tamiz de 150 μm (No. 100) o de 75 μm (No. 200), de acuerdo con la norma INV E-214 y luego se seca y tamiza en varias fracciones de tamaño, separadas de acuerdo con los procedimientos de la norma INV E-213. Las fracciones de los tamaños necesarios obtenidas de uno o más análisis de tamizado, se mantienen en condición seca, en recipientes separados para cada tamaño. Para el método C, se seca un poco de la muestra tal como se recibió, de acuerdo con el procedimiento de secado de la norma INV E-213.

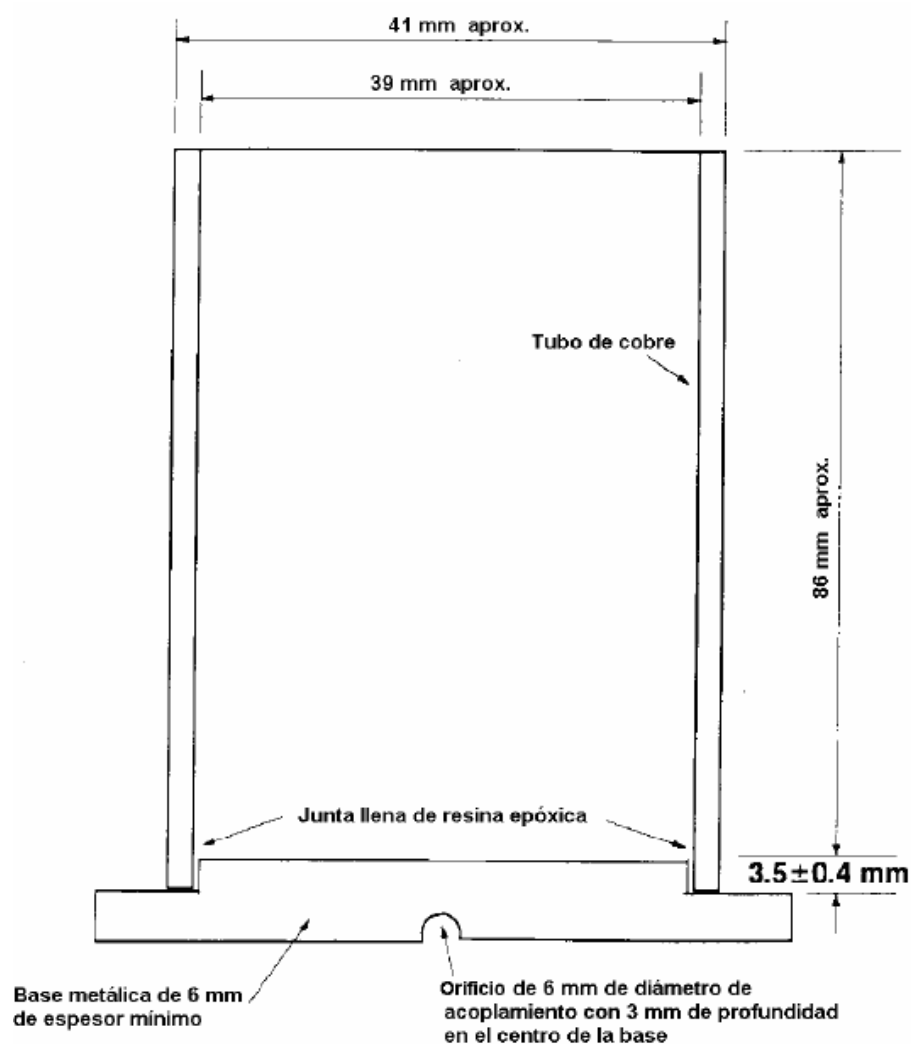


Figura 239 - 1. Medidor cilíndrico, nominalmente de 100 ml

6 CALIBRACIÓN DEL RECIPIENTE CILÍNDRICO

- 6.1** Se aplica una ligera capa de grasa al borde superior del medidor cilíndrico, seco y vacío. Se determina la masa del medidor, la grasa y la placa de vidrio. Se llena el medidor con agua fresca hervida y desionizada, a una temperatura entre 18 y 24° C. Se registra la temperatura del agua. Se coloca la placa de vidrio sobre el recipiente cilíndrico, asegurándose de no dejar burbujas de aire. Se seca la superficie exterior del recipiente y, mediante pesaje, se determina la masa de éste, combinada con la de placa de vidrio, la grasa y el agua. Después del pesaje final, se remueve la grasa y se determina la masa del recipiente cilíndrico vacío, seco y limpio, para pruebas posteriores.

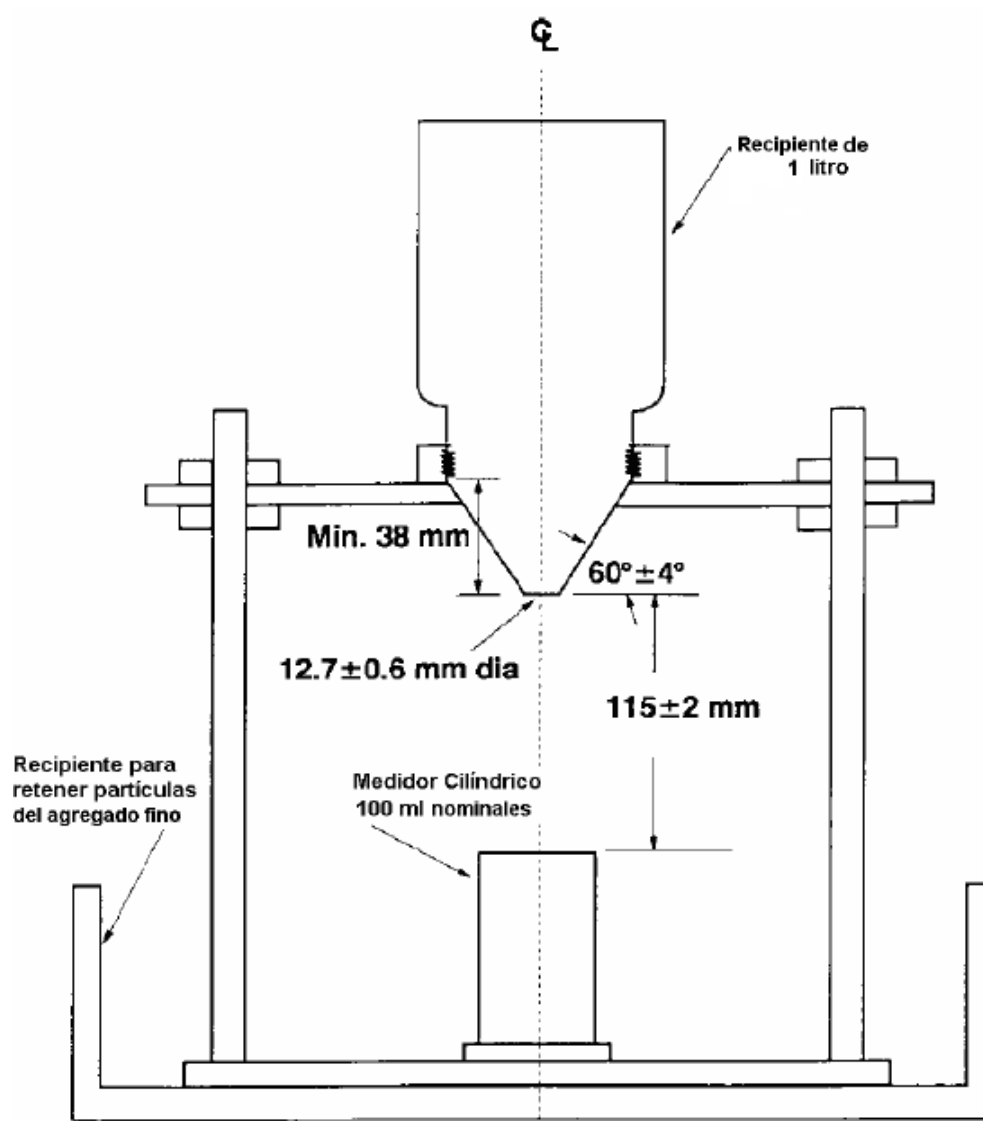


Figura 239 - 2. Sección transversal de equipo en posición de ensayo

6.2 Se calcula el volumen del medidor cilíndrico, como sigue:

$$V = \frac{1000 M}{D} \quad [239.1]$$

Donde: V: Volumen del cilindro, ml;

M: Masa neta del agua, g;

D: Densidad del agua, kg/m³ (ver Tabla 217 - 3 de la norma de ensayo INV E-217).

El volumen se debe determinar al 0.1 ml más cercano

Nota 1: Si el volumen del recipiente es mayor de 100 ml, puede ser deseable rectificar su extremo superior hasta que el volumen sea exactamente de 100 ml, para simplificar los cálculos posteriores.

7 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS DE ENSAYO

7.1 *Método de prueba A – Muestra gradada estándar* – Se pesan y combinan las siguientes cantidades de agregado fino, secado y tamizado previamente de acuerdo con la norma de ensayo INV E-213. La tolerancia de cada una de estas cantidades es de ± 0.2 g.

FRACCIÓN DE TAMAÑO INDIVIDUAL	MASA, g
2.36 mm (No. 8) a 1.18 mm (No. 16)	44
1.18 mm (No. 16) a 600 µm (No. 30)	57
600 µm (No. 30) a 300 µm (No. 50)	72
300 µm (No. 50) a 150 µm (No. 100)	17
Total	190

7.2 *Método de prueba B – Fracciones de tamaño individual* – Se prepara una muestra separada de agregado fino de 190 g; se seca y se tamiza de acuerdo con la norma INV E-213 para cada una de las fracciones de tamaño que se indican a continuación. La tolerancia de cada una de estas cantidades es de ± 1.0 g. Las porciones no se deben mezclar. Cada tamaño se ensaya por separado.

FRACCIÓN DE TAMAÑO INDIVIDUAL	MASA, g
2.36 mm (No. 8) a 1.18 mm (No. 16)	190
1.18 mm (No. 16) a 600 μ m (No. 30)	190
600 μ m (No. 30) a 300 μ m (No. 50)	190

- 7.3** *Método de prueba C – Gradación como se recibe* – Se pesa la muestra (secada de acuerdo con la norma INV E–213) a través del tamiz de 4.75 mm (No. 4) y se obtiene una porción de 190 ± 1 g del material que pasa dicho tamiz para el ensayo.
- 7.4** *Densidad relativa (gravedad específica del agregado fino)* – Si la densidad relativa seca (gravedad específica) del agregado fino de la fuente es desconocida, se determina sobre el material que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4), de acuerdo con la norma de ensayo INV E–222. Este valor se usará en los cálculos subsecuentes, a menos que algunas fracciones de tamaño difieran en más de 0.05 de la gravedad específica típica de la muestra completa, en cuyo caso se debe determinar la gravedad específica de la fracción (o fracciones) que se está (n) probando. Un indicador de las diferencias en la gravedad específica de las diferentes fracciones del agregado fino es el desarrollo de gradaciones diferentes dentro del agregado. La gravedad específica se puede determinar sobre gradaciones con o sin fracciones de tamaños específicos de interés. Si las diferencias de gravedad específica exceden de 0.05, se debe determinar la gravedad específica del tamaño individual de 2.36 mm (No. 8) a 150 μ m (No. 100) para usar con el método A, o de las fracciones de tamaño individual para usar con el método B, ya sea por medida directa o por cálculo usando los datos de gravedad específica sobre las gradaciones con y sin la fracción de tamaño de interés. Una diferencia en gravedad específica de 0.05 cambiará el contenido de vacíos calculado en cerca de 1 %.

8 PROCEDIMIENTO

- 8.1** Se mezcla cada muestra de prueba con la espátula hasta que parezca homogénea. Se ubica en el soporte el embudo con su complemento y se centra el recipiente cilíndrico, tal como se muestra en la Figura 239 - 2. Se debe usar un dedo para bloquear la abertura del embudo. Se vierte la muestra dentro del embudo y se nivela el material en el embudo con la espátula (Figura

239 - 3). Se retira el dedo y se permite que la muestra caiga libremente dentro del recipiente cilíndrico.



Figura 239 - 3. Vertimiento de la arena dentro del embudo

- 8.2** Una vez el embudo quede vacío, se remueve el exceso de agregado fino del recipiente cilíndrico con un paso de la espátula con el ancho de la hoja vertical, usando la parte recta de su borde en suave contacto con la parte superior del recipiente cilíndrico. Hasta que esta operación esté completa, se debe tener cuidado para evitar vibraciones o cualquier disturbio que pudiera causar la compactación del agregado fino dentro del recipiente (nota 2). Se cepillan los granos adheridos en el exterior del medidor y se determina la masa del recipiente con su contenido al 0.1 gramo más cercano (Figura 239 - 4). Se recuperan todas las partículas de agregado fino para una segunda prueba.

Nota 2: Después de remover el exceso, el recipiente puede ser golpeado suavemente para compactar la muestra y facilitar la transferencia del recipiente a la balanza sin derramar nada de la muestra.



Figura 239 - 4. Determinación de la masa del recipiente con el agregado fino

- 8.3** Se combina la muestra de la bandeja con la del recipiente cilíndrico y se repite el procedimiento. Se promedian los resultados de las dos pruebas. Ver Sección 9.
- 8.4** Se registra la masa del recipiente cilíndrico vacío. También, para cada prueba, se debe registrar la masa del recipiente con el agregado fino.

9 CÁLCULOS

- 9.1** Se calcula el porcentaje de vacíos del agregado fino sin compactar para cada determinación, como sigue:

$$U = \frac{V - \frac{F}{G}}{V} \times 100 \quad [239.2]$$

Donde: V: Volumen del medidor cilíndrico, ml;

F: Masa neta del agregado fino en el medidor, g (masa bruta menos la masa del recipiente vacío);

G: Densidad relativa seca (gravedad específica) del agregado fino; U:

Porcentaje de vacíos en el agregado fino sin compactar.

- 9.2** Para la muestra gradada estándar (Método de prueba A), se calcula el promedio de las dos determinaciones de vacíos del agregado sin compactar y se reporta el resultado como U_s .
- 9.3** Para las fracciones de tamaño individual (Método de prueba B), se calcula como sigue:
- 9.3.1** Primero, el promedio de vacíos del agregado fino sin compactar para la determinación hecha sobre cada una de las tres muestras o fracciones de tamaño:

U_1 : Vacíos del agregado fino sin compactar, 2.36 mm (No. 8) a 1.18 mm (No. 16), %;

U_2 : Vacíos del agregado fino sin compactar, 1.18 mm (No. 16) a 600 μm (No. 30), %;

U_3 : Vacíos del agregado fino sin compactar, 600 μm (No. 30) a 300 μm (No. 50), %.

9.3.2 Segundo, el promedio de vacíos del agregado fino sin compactar (U_m), incluyendo los resultados de los tres tamaños, se determina así:

$$U_m = \frac{U_1 + U_2 + U_3}{3} \quad [239.3]$$

9.4 Para la gradación de la muestra tal como se recibe (Método de prueba C), se calcula el promedio de las dos determinaciones de los vacíos del agregado fino sin compactar y se reporta el resultado como U_R .

10 INFORME

10.1 Se reporta la siguiente información para la muestra gradada estándar (Método de prueba A):

10.1.1 Vacíos del agregado fino sin compactar (U_5) en porcentaje, redondeado a 0.1 %.

10.1.2 Valor de la gravedad específica usada en los cálculos.

10.2 Reportar los siguientes porcentajes de vacíos aproximados a 0.1 % para las fracciones de tamaño individual (Método de prueba B):

10.2.1 Vacíos del agregado fino sin compactar para las fracciones de tamaño: (a) 2.36 mm (No. 8) a 1.18 mm (No. 16) (U_1); (b) 1.18 mm (No. 16) a 600 μm (No. 30) (U_2); y (c) 600 μm (No. 30) a 300 μm (No. 50) (U_3).

10.2.2 Valor promedio de los vacíos del agregado fino sin compactar (U_m).

10.2.3 Valores de las gravedades específicas usadas en los cálculos, y si los valores de gravedad específica fueron determinados sobre una muestra gradada o sobre las fracciones de tamaño individual usadas en la prueba.

10.3 Se reporta la siguiente información para la muestra tal como se recibe (Método de prueba C):

10.3.1 Vacíos del agregado fino sin compactar (U_R) en porcentaje, redondeado a 0.1 %.

10.3.2 Valor de la gravedad específica usada en los cálculos.

11 PRECISIÓN Y SESGO

11.1 *Precisión* – El criterio para juzgar la aceptabilidad de los resultados obtenidos por este método de ensayo se da a continuación:

MATERIAL E ÍNDICE TIPO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (1s) %	RANGO ACEPTABLE DE DOS RESULTADOS (d2s) %
<i>Precisión de un solo operador:</i>		
Arena estándar gradada ^A	0.13	0.37
Agregado fino manufacturado ^B	0.33	0.94
<i>Precisión varios laboratorios:</i>		
Arena estándar gradada ^A	0.33	0.93
Agregado fino manufacturado ^B	1.1	3.1

^A Estos estimados de precisión se basan en arena estándar gradada como se describe en la especificación ASTM C 778, la cual se considera redondeada, y es gradada de 600 μm (No. 30) a 150 μm (No. 100), y puede no ser típica de otros agregados finos.

^B Estos estimados de precisión se basan en resultados del programa de muestreo eficiente del laboratorio de referencia de materiales de la AASHTO. Los datos se basan en los análisis de los resultados de 103 pares de pruebas de 103 laboratorios. Las pruebas fueron conducidas de acuerdo con el método C, gradación tal como se recibe, sobre un agregado fino manufacturado.

Nota 3: Los valores en la columna 2 corresponden a las desviaciones estándar que han sido encontradas como apropiadas para los materiales y condiciones de prueba descritos en la columna 1. Los valores dados en la columna 3, son los límites que no deberían ser excedidos por la diferencia entre los resultados de dos pruebas realizadas apropiadamente.

11.2 *Sesgo* – Considerando que no hay material de referencia adecuado para determinar el sesgo de los procedimientos en estos métodos de prueba, no se presenta una declaración sobre el particular.

12 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM C 1252 – 06