

DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

INV E – 222 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para determinar la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado fino (sin incluir los vacíos entre ellas), la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado fino. Dependiendo del procedimiento utilizado, la densidad, en kg/m^3 (lb/pie^3), se expresa como seca al horno (SH), saturada y superficialmente seca (SSS) o aparente. Además, la densidad relativa (gravedad específica), que es una cantidad adimensional, se expresa como seca al horno (SH), saturada y superficialmente seca (SSS) o aparente (gravedad específica aparente). La densidad seca al horno (SH) y la densidad relativa seca al horno (SH) se deben determinar luego del secado del agregado. La densidad SSS, la densidad relativa SSS y la absorción se determinan luego de sumergir el agregado en agua durante un período especificado.
- 1.2** El ensayo descrito en esta norma se usa para determinar la densidad de la porción esencialmente sólida de un gran número de partículas de agregado y suministra el valor promedio que representa la muestra. Se debe establecer distinción entre la densidad de las partículas de agregado determinadas mediante este método de ensayo, y la densidad bulk de los agregados determinada a través de la norma INV E–217, la cual incluye el volumen de los vacíos entre las partículas del agregado.
- 1.3** El método de ensayo descrito en esta norma no es aplicable a agregados livianos.
- 1.4** Esta norma reemplaza la norma INV E–222–07.

2 DEFINICIONES

- 2.1** *Absorción* – Incremento de la masa de un agregado, debido a la penetración de agua dentro de los poros de sus partículas durante un período especificado, pero sin incluir el agua adherida a la superficie exterior de las partículas. La absorción se expresa como un porcentaje de la masa seca del agregado.

- 2.2** *Densidad* – Masa por unidad de volumen de un material, expresada generalmente en kg/m^3 (lb/pe^3).
- 2.2.1** *Densidad en condición seca al horno (SH)* – Masa por unidad de volumen de las partículas de agregado secas al horno, incluyendo el volumen de los poros permeables e impermeables de las partículas, pero no los vacíos entre ellas.
- 2.2.2** *Densidad en condición saturada y superficialmente seca (SSS)* – Masa por unidad de volumen de las partículas del agregado saturadas y superficialmente secas, incluyendo el volumen de los poros permeables e impermeables de las partículas y el agua que llena los poros permeables, pero no los vacíos entre las partículas.
- 2.2.3** *Densidad aparente* – Masa por unidad de volumen de la porción impermeable de las partículas del agregado.
- 2.3** *Condición seca al horno (SH)* – Condición en la cual el agregado ha sido secado por calentamiento en un horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$) durante un lapso suficiente para alcanzar masa constante.
- 2.4** *Densidad relativa (gravedad específica)* – Relación entre la densidad de un material y la densidad del agua a una temperatura indicada. Su valor es adimensional.
- 2.4.1** *Densidad relativa (gravedad específica) en condición seca al horno (SH)* – Relación entre la densidad del agregado en condición seca al horno (SH) y la densidad del agua a una temperatura indicada.
- 2.4.2** *Densidad relativa (gravedad específica) en condición saturada y superficialmente seca (SSS)* – Relación entre la densidad SSS del agregado y la densidad del agua a una temperatura indicada.
- 2.4.3** *Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)* – Relación entre la densidad aparente del agregado y la densidad del agua a una temperatura indicada.
- 2.5** *Condición saturada y superficialmente seca (SSS)* – Condición en la cual los poros permeables de las partículas del agregado están llenos de agua en la cantidad que se logra al sumergirlas en agua durante un tiempo especificado, pero sin que exista agua libre en la superficie de las partículas.

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1** Se sumerge en agua una muestra del agregado durante un período de 24 ± 4 h, para llenar sus poros permeables. Una vez retiradas del agua, las partículas del agregado se secan superficialmente y se determina su masa. Posteriormente, la muestra (o una parte de ella) se coloca en un recipiente graduado y se determina su volumen por el método gravimétrico o el volumétrico. Finalmente, la muestra se seca al horno y se determina su masa seca. Usando los valores de masa obtenidos y las fórmulas incluidas en esta norma, es posible calcular la densidad, la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado.

4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1** La densidad relativa (gravedad específica) es la característica generalmente empleada para calcular el volumen ocupado por el agregado en mezclas como las de concreto hidráulico, concreto asfáltico y otras que se dosifican o analizan sobre la base de un volumen absoluto. La densidad relativa (gravedad específica) se usa, también, en el cálculo de los vacíos del agregado en la norma INV E-217. La densidad relativa (gravedad específica) SSS se emplea en la determinación de la humedad superficial del agregado fino por el método de desplazamiento de agua indicado en la norma ASTM C70. La densidad relativa (gravedad específica) SSS se usa si el agregado está húmedo, es decir, si su absorción ha sido satisfecha. Por el contrario, la densidad relativa (gravedad específica) en condición seca (SH) se usa para los cálculos requeridos cuando el agregado está seco o se asume que lo está.
- 4.2** La densidad aparente y la densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) se refieren a las partículas del agregado excluyendo todo espacio en ellas que sea accesible al agua, y son poco utilizadas en la tecnología de los agregados para construcción.
- 4.3** Los valores de absorción se usan para calcular el cambio de masa de un agregado a causa del agua absorbida por los poros permeables de sus partículas, en relación con la masa en condición seca, cuando se considera que el agregado ha estado en contacto con el agua un tiempo suficiente para satisfacer la mayoría de su potencial de absorción. La norma de laboratorio para la absorción es que ella se debe obtener luego de sumergir el agregado seco en agua durante un tiempo prescrito. Los agregados extraídos por debajo del nivel freático tienen, por lo general, un contenido de agua mayor que la

absorción determinada por este método, si se emplean sin darles la oportunidad de secarse. Por el contrario, algunos agregados que no han permanecido continuamente en condición húmeda hasta el instante de su uso, posiblemente contengan una humedad absorbida menor que la que se obtiene tras la inmersión durante 24 h. Para un agregado que ha estado en contacto con el agua y que tiene humedad libre en las superficies de sus partículas, el porcentaje de agua libre se determina deduciendo la absorción de su contenido de agua total, determinado por secado de acuerdo con la norma INV E-216.

- 4.4** Los procedimientos generales descritos en esta norma son también apropiados para determinar la absorción de agregados que han sido acondicionados de un modo diferente a la inmersión durante 24 h como, por ejemplo, mediante el empleo de agua hervida o la saturación por vacío. Los valores de absorción obtenidos por otros métodos son diferentes de los que se determinan tras la inmersión por 24 h. Lo mismo sucede con los valores de la densidad SSS y de la densidad relativa (gravedad específica) SSS.
- 4.5** En los agregados livianos, los poros no se llenan necesariamente tras un período de inmersión de 24 h. En efecto, el potencial de absorción de muchos de esos agregados no se satisface ni siquiera luego de varios días de inmersión. Por lo tanto, este método de ensayo no es aplicable a ese tipo de agregados.

5 EQUIPO

- 5.1** *Balanza* – Con capacidad mínima de 1 kg, sensibilidad de 0.1 g o menor, y una exactitud de 0.1 % de la masa de la muestra en cualquier punto del rango de pesada empleado en el ensayo. Para un rango de carga de 100 g, una diferencia de lecturas deberá ser exacta dentro de 0.1 g.
- 5.2** *Picnómetro (para uso con el procedimiento gravimétrico)* – Un matraz u otro recipiente aforado, en el que se pueda introducir fácilmente la muestra de agregado fino y donde se puedan apreciar volúmenes con una exactitud de $\pm 0.1 \text{ cm}^3$. Su capacidad hasta la marca superior será, como mínimo, un 50 % mayor que el volumen ocupado por la muestra. Un matraz de 500 cm^3 o un frasco para frutas con tapa de picnómetro, son satisfactorios para 500 g de muestra de prueba, en la mayoría de los agregados finos.
- 5.3** *Matraz (para uso con el procedimiento volumétrico)* – Un frasco de Le Chatelier es adecuado para una muestra de prueba de, aproximadamente, 55 g.

- 5.4** *Molde cónico* – Molde metálico en forma de tronco de cono, construido con una chapa de 0.8 mm de espesor mínimo, de 40 ± 3 mm de diámetro interior en su base superior, 90 ± 3 mm de diámetro interior en la base inferior y 75 ± 3 mm de altura.
- 5.5** *Pisón* – Varilla metálica recta, con una masa de 340 ± 15 g, con una superficie circular plana para el apisonado, de 25 ± 3 mm de diámetro.
- 5.6** *Horno* – De tamaño suficiente y capaz de mantener una temperatura uniforme de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{C}$).
- 5.7** *Secador de pelo* – Para secar la muestra hasta la condición saturada y superficialmente seca.
- 5.8** *Embudo* – Para verter la muestra dentro del picnómetro.
- 5.9** *Elementos accesorios* – Recipientes de diversos tamaños para el secado y manejo la muestra, agitador mecánico, etc.

6 PREPARACIÓN DEL ESPÉCIMEN DE PRUEBA

- 6.1** La muestra del agregado se debe obtener de acuerdo con la norma INV E–201 y reducir a la fracción requerida para el ensayo (aproximadamente 1 kg), de acuerdo con la norma INV E–202.
- 6.2** Se coloca la muestra en un recipiente adecuado y se seca hasta masa constante a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$). Se permite que se enfríe hasta una temperatura en la que sea manejable (unos 50°C), se cubre con agua de manera que quede sumergida, o se le añade la necesaria para que su humedad sea de 6 % o más, y se mantiene en ese estado por 24 ± 4 horas.
- 6.2.1** Cuando los valores de la densidad relativa (gravedad específica) y de la absorción se vayan a utilizar en el diseño de mezclas de concreto hidráulico, en las que los agregados se emplean en su condición normal de humedad, se puede prescindir del secado previo hasta masa constante. Además, si los agregados se han mantenido previamente con su superficie continuamente húmeda, se puede, igualmente, omitir el período de 24 ± 4 horas de inmersión.

Nota 1: Los valores que se obtienen para la absorción y la densidad relativa (gravedad específica) SSS, pueden ser significativamente más altos si se omite el secado previo antes del período de inmersión.

- 6.3** Después del período de inmersión, se decanta cuidadosamente el agua para evitar la pérdida de finos (Ver Anexo A) y se extiende la muestra sobre una superficie plana no absorbente. Se inicia la operación de secar la superficie de las partículas, dirigiendo sobre ella una corriente moderada de aire tibio (Figura 222 - 1) y se revuelve periódicamente para asegurar un secado homogéneo, buscando que el material alcance la condición de saturado y superficialmente seco. La operación se continúa hasta que las partículas del agregado puedan fluir libremente. Se debe seguir el procedimiento indicado en el numeral 6.4, para determinar si la superficie de las partículas de agregado fino está aun húmeda. Se hace un primer tanteo con el molde cónico cuando todavía hay humedad superficial en el espécimen. Se continúa el proceso de secado y se efectúa periódicamente la prueba del cono, hasta que el espécimen alcanza la condición saturada y superficialmente seca. Si el primer tanteo indica que no hay agua superficial o se ha secado más allá de la condición saturada y superficialmente seca, se agregan a la muestra unos pocos mililitros de agua, se mezcla, y se deja en reposo en un recipiente cubierto durante 30 minutos. Después de este tiempo se reinicia el proceso de secado y de prueba de cono a intervalos frecuentes, hasta alcanzar la condición saturada y superficialmente seca.



Figura 222 - 1. Secado de la muestra con aire tibio

- 6.4** *Prueba del cono para verificar la condición saturada y superficialmente seca* – Cuando se empieza a observar visualmente que el agregado fino se está aproximando a esta condición, se sujeta firmemente el molde cónico con su diámetro mayor apoyado sobre una superficie plana no absorbente, se pone en su interior una porción de muestra en estado suelto, en cantidad suficiente para llenarlo hasta rebosar y amontonando material adicional sobre la parte superior, el cual se sostiene colocando en forma de bocina los dedos de la

mano que está sujetando el molde. En seguida, se apisona ligeramente el agregado dentro del molde, aplicándole 25 golpes con la varilla (Figura 222 - 2). Cada golpe se debe dar dejando caer libremente el pisón bajo la acción de la gravedad, únicamente, desde unos 5 mm (0.2") por encima de la superficie superior del agregado fino. A continuación, se remueve la arena suelta que haya alrededor de la base del molde y se levanta éste verticalmente. Si hay humedad superficial aun presente, la muestra de agregado fino mantendrá su forma cónica (Figura 222 - 3), por lo que se continuará secando y mezclando la muestra, realizando frecuentemente la prueba del cono hasta que se produzca un derrumbe parcial, el cual indica que se ha alcanzado la condición superficialmente seca.



Figura 222 - 2. Aplicación de los golpes con el pisón

6.4.1 Algunos agregados finos angulosos o con alta proporción de partículas finas no se derrumban en la condición de superficialmente secos. Para verificarlo, se deja caer desde una altura entre 100 y 150 mm la cantidad de muestra de ensayo que puede ser sostenida en una mano y se observa si se presentan finos suspendidos en el aire. Su presencia es indicativa del problema. Para estos materiales, se considera la condición saturada y superficialmente seca como el punto en el cual un lado del cono formado con el espécimen se asienta ligeramente al remover el molde.



Figura 222 - 3. Agregado con humedad superficial

Nota 2: Se han usado los siguientes criterios para los materiales que no se derrumban fácilmente:

1 - Prueba de cono provisional– El llenado se hace de acuerdo con el numeral 6.4, excepto que se usan solamente 10 golpes con el pisón. Se agrega más agregado fino y nuevamente se aplican 10 golpes del pisón. Posteriormente, se agrega material otras dos veces y se aplican tres y dos golpes del pisón, respectivamente. Se enrasa la parte superior del molde, se remueve el material suelto alrededor de la base; y se levanta verticalmente el molde.

2 - Prueba superficial provisional – Si se observan partículas suspendidas en el aire cuando la condición del agregado fino es tal, que no se derrumba cuando está en la condición de humedad, se añade más agua a la arena, y al comienzo de la condición saturada y superficialmente seca, se arma con palmadas suaves una pasta (torta) de unos 100 g de material sobre una superficie plana, seca, limpia, oscura, o una superficie mate no absorbente, como una lámina de caucho o sobre una superficie de acero, de material galvanizado o una superficie metálica pintada de negro. Después de 1 a 3 segundos, se remueve el agregado fino. Si se puede apreciar humedad en la superficie plana por más de 1 o 2 segundos, ello quiere decir que en el agregado aun hay humedad superficial.

3 – Se pueden emplear los procedimientos colorimétricos descritos por Kandhal y Lee en la página 44 del boletín 307 del Highway Research Record.

4 - Para alcanzar la condición saturada y superficialmente seca de un material de un solo tamaño que se derrumba aun teniendo humedad superficial, se pueden utilizar toallas de papel resistentes para secar la humedad superficial hasta el punto justo en donde la toalla de papel no absorba más humedad de la superficie de las partículas del agregado fino.

7 PROCEDIMIENTO

7.1 El procedimiento gravimétrico se describe en el numeral 7.2 y el volumétrico en el numeral 7.3. Todas las determinaciones de masa se deben realizar con aproximación a 0.1 g.

7.2 Procedimiento gravimétrico:

7.2.1 Se llena parcialmente el picnómetro con agua. Inmediatamente, se introducen en el picnómetro, 500 ± 10 g del agregado fino saturado y superficialmente seco, preparado como se ha descrito en la Sección 6 (Figura 222 - 4), y se añade agua hasta aproximadamente un 90 % de su capacidad. Se agita el picnómetro como se describe en el numeral **7.2.1.1** (manualmente) o en el numeral 7.2.1.1 (mecánicamente).

7.2.1.1 El picnómetro se rueda, agita o invierte (o se combinan lastres acciones) para eliminar las burbujas de aire visibles.

Nota 3: Normalmente, se requieren de 15 a 20 minutos de agitación para eliminar las burbujas de aire en el método manual. Se ha encontrado útil introducir la punta de una toalla de papel en el picnómetro para remover la espuma que se forma a veces en el proceso de eliminación de aire. Opcionalmente, se puede usar una pequeña cantidad de alcohol isopropílico para remover la espuma.

7.2.1.2 La agitación mecánica se logra aplicando vibración externa al picnómetro de una manera que no degrade la muestra. Un nivel de agitación justo para remover el aire atrapado sin degradar, es el que mueve las partículas individuales del material. Se considera aceptable un agitador mecánico para este uso, si la comparación de resultados de pruebas realizadas cada 6 meses muestra una variación menor que la aceptada para dos resultados del mismo material con agitación manual (d2s) según se indica en la Tabla 222 - 1.



Figura 222 - 4. Introducción de la muestra en el picnómetro

- 7.2.2** Luego de eliminar las burbujas de aire, se ajusta la temperatura del picnómetro con la muestra a $23 \pm 2.0^\circ \text{C}$, introduciéndolo parcialmente en un baño de agua si es necesario. Se lleva el nivel de agua (a igual temperatura) hasta la marca de capacidad del picnómetro; se seca rápidamente su superficie y se determina su masa total (picnómetro, muestra y agua).
- 7.2.3** Se remueve el agregado fino del picnómetro y se seca hasta masa constante a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{C}$). Se deja enfriar a temperatura ambiente por $1 \pm \frac{1}{2} \text{h}$, y se determina su masa.
- 7.2.4** Se determina la masa del picnómetro lleno de agua hasta su marca de capacidad, a $23 \pm 2.0^\circ \text{C}$.

7.3 *Procedimiento volumétrico (frasco de Le Chatelier):*

- 7.3.1** Se llena el frasco inicialmente con agua hasta un punto en su cuello entre las marcas 0 y 1 ml y se registra la lectura. Tanto el frasco como el agua se deben encontrar a $23 \pm 2.0^\circ \text{C}$. Se añaden $55 \pm 5 \text{g}$ de agregado fino en condición saturada y superficialmente seca, (u otra cantidad si así se ha especificado). Después de introducir la muestra de agregado fino, se pone el tapón en el frasco, se coloca éste en posición inclinada y se gira suavemente en círculos para eliminar el aire atrapado, hasta que no salgan burbujas de aire a la superficie (nota 4). Se toma y registra la lectura final en el frasco, cuando la temperatura del frasco con su contenido esté a la temperatura de la lectura inicial $\pm 1^\circ \text{C}$.

Nota 4: Se puede usar una pequeña cantidad de alcohol isopropílico (no más de 1 ml) para remover la espuma. El volumen de alcohol se debe restar de la lectura final (R_2).

- 7.3.2** Para determinar la absorción, se usa una porción diferente de agregado fino, de $50 \pm 10 \text{g}$, la cual se seca hasta masa constante, determinándose luego dicha masa.

Tabla 222 - 1. Precisión

PARÁMETRO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (1s)	RANGO ACEPTABLE DE DOS RESULTADOS (d2s)
<i>Precisión de un solo operador:</i>		
Densidad (SH), kg/m ³	11	13
Densidad (SSS), kg/m ³	9.5	27
Densidad aparente, kg/m ³	9.5	27
Densidad relativa (gravedad específica) (SH)	0.011	0.032
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)	0.0095	0.027
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	0.0095	0.027
Absorción, % ^A	0.11	0.31
<i>Precisión varios laboratorios:</i>		
Densidad (SH), kg/m ³	23	64
Densidad (SSS), kg/m ³	20	56
Densidad aparente, kg/m ³	20	56
Densidad relativa (gravedad específica) (SH)	0.023	0.066
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)	0.020	0.056
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	0.020	0.056
Absorción, % ^A	0.23	0.66

^A La precisión estimada se basa en agregados con absorción menor del 1 % y puede diferir para agregados finos de trituration, y para agregados con valores de absorción mayor a 1 %.

8 CÁLCULOS

8.1 Símbolos:

- A: Masa al aire de la muestra seca al horno, g;
- B: Masa del picnómetro aforado lleno de agua, g;
- C: Masa total del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua, g;
- R₁: Lectura inicial con agua en el frasco de Le Chatelier, ml;
- R₂: Lectura final con agua y muestra en el frasco de Le Chatelier, ml;

S: Masa de la muestra saturada y superficialmente seca (usada para hallar la densidad y la densidad relativa en el procedimiento gravimétrico o la absorción en ambos procedimientos), g;

S₁: Masa de la muestra saturada y superficialmente seca añadida al frasco (usada para hallar la densidad y la densidad relativa en el procedimiento volumétrico), g;

8.2 Densidad relativa (gravedad específica):

8.2.1 Densidad relativa (gravedad específica) seca al horno (SH) – Se calcula sobre la base del agregado secado al horno, de la siguiente forma:

8.2.1.1 Procedimiento gravimétrico:

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica) SH} = \frac{A}{(R + S - C)} \quad [222.1]$$

8.2.1.2 Procedimiento volumétrico:

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica) SH} = \frac{S_1 \frac{A}{S}}{[0.9975 (R_2 - R_1)]} \quad [222.2]$$

8.2.2 Densidad relativa (gravedad específica) en condición saturada y superficialmente seca (SSS) – Se calcula sobre la base del agregado en condición saturada y superficialmente seca, de la siguiente forma:

8.2.2.1 Procedimiento gravimétrico:

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica) SSS} = \frac{S}{(R + S - C)} \quad [222.3]$$

8.2.2.2 Procedimiento volumétrico:

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica) SSS} = \frac{[S_1]}{[0.9975 (R_2 - R_1)]} \quad [222.4]$$

8.2.3 Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) – Se calcula de la siguiente forma:

8.2.3.1 Procedimiento gravimétrico:

$$\text{Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)} = \frac{A}{(R + A - C)} \quad [222.5]$$

8.2.3.2 Procedimiento volumétrico:

$$\text{Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)} = \frac{\phi_{S_1} \frac{A}{S}}{[0.9975(R_2 - R_1)] - \phi_{S_1} \frac{S_1}{S} (S - A)} \quad [222.6]$$

8.3 Densidad:

8.3.1 Densidad en condición seca al horno (SH) – Se calcula de la siguiente forma:

8.3.1.1 Procedimiento gravimétrico:

$$\text{Densidad (SH), kg/m}^3 = \frac{997.5 A}{(R + S - C)} \quad [222.7]$$

$$\text{Densidad (SH), lb/pie}^3 = \frac{62.27 A}{(R + S - C)} \quad [222.8]$$

8.3.1.2 Procedimiento volumétrico:

$$\text{Densidad SH, kg/m}^3 = \frac{\phi_{997.5 S_1} \frac{A}{S}}{[0.9975 (R_2 - R_1)]} \quad [222.9]$$

$$\text{Densidad SH, lb/pie}^3 = \frac{\phi_{62.67 S_1} \frac{A}{S}}{[0.9975 (R_2 - R_1)]} \quad [222.10]$$

8.3.2 Densidad en condición saturada y superficialmente seca (SSS) – Se calcula sobre la base del agregado en condición saturada y superficialmente seca, de la siguiente forma:

8.3.2.1 Procedimiento gravimétrico:

$$\text{Densidad SSS, kg/m}^3 = \frac{997.5 S}{(R + S - C)} \quad [222.11]$$

$$\text{Densidad SSS, lb/pie}^3 = \frac{62.27 S}{(R + S - C)} \quad [222.12]$$

8.3.2.2 Procedimiento volumétrico:

$$\text{Densidad SSS, kg/m}^3 = \frac{997.5 [S_1]}{[0.9975 (R_2 - R_1)]} \quad [222.13]$$

$$\text{Densidad SSS, lb/pie}^3 = \frac{62.27 [S_1]}{[0.9975 (R_2 - R_1)]} \quad [222.14]$$

8.3.3 Densidad aparente – Se calcula de la siguiente forma:

8.3.3.1 Procedimiento gravimétrico:

$$\text{Densidad aparente, kg/m}^3 = \frac{997.5 A}{(R + A - C)} \quad [222.15]$$

$$\text{Densidad aparente, lb/pie}^3 = \frac{62.27 A}{(R + A - C)} \quad [222.16]$$

8.3.3.2 Procedimiento volumétrico:

$$\text{Densidad aparente, kg/m}^3 = \frac{997.5 S_1 \frac{A}{S}}{[0.9975(R_2 - R_1)] - \frac{S_1}{S} (S - A)} \quad [222.17]$$

$$\text{Densidad aparente, lb/pie}^3 = \frac{62.27 S_1 \frac{A}{S}}{[0.9975(R_2 - R_1)] - \frac{S_1}{S}(S - A)} \quad [222.18]$$

Nota 5: Las constantes utilizadas en las fórmulas de los numerales 8.3.1 a 8.3.3 (997.5 kg/m³ y 62.27 lb/pie³) corresponden a la densidad del agua a 23° C. Algunas autoridades consideran que el uso de la densidad del agua a 4° C (1000 kg/m³ y 62.43 lb/pie³) brinda suficiente exactitud en los resultados.

8.4 Absorción – Se calcula, en porcentaje, con la expresión:

$$\text{Absorción, \%} = \frac{S - A}{\Delta} \times 100 \quad [222.19]$$

9 INFORME

- 9.1** Los resultados de densidad se deben reportar redondeados a 10 kg/m³ o 0.5 lb/pie³, y los de densidad relativa (gravedad específica) a 0.01. Se debe indicar si los valores están referidos a la condición seca al horno (SH), saturada y superficialmente seca (SSS) o aparente.
- 9.2** El porcentaje de absorción se debe informar redondeado a 0.1%.
- 9.3** Si los valores de densidad y densidad relativa (gravedad específica) se determinaron sin el secado previo del material, como se permite en el numeral 6.2, ello debe quedar indicado en el informe.

10 PRECISIÓN Y SESGO

- 10.1 Precisión** – Los estimativos de precisión de este método (mostrados en la Tabla 222 - 1) se basan en los resultados obtenidos en el *AASHTO Materials Reference Laboratory Proficiency Program*, con pruebas realizadas mediante este ensayo y el método AASHTO T-84. La diferencia entre los métodos está en que en el presente método de ensayo requiere un período de saturación de 24 ± 4 horas mientras que en el de AASHTO se requiere un período de saturación de 15 a 19 horas. Esta diferencia tiene un efecto insignificante sobre la precisión de los índices. Los datos están basados en el análisis de más de 100 pares de resultados de ensayos de 40 a 100 laboratorios. Para efectos de conversión, se utilizó la densidad del agua a 23° C.

- 10.2** *Sesgo* – No hay un material de referencia aceptado para determinar el sesgo para este método; por lo tanto no hay ninguna declaración sobre el particular.

11 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM C 128 – 07a

ANEXO A (Informativo)

DIFERENCIAS POTENCIALES EN LA DENSIDAD RELATIVA BULK Y EN LA ABSORCIÓN DEBIDO A LA PRESENCIA DE PARTÍCULAS MENORES DE 75 μm

- A.1** Se ha encontrado que puede haber diferencias significativas en las densidades relativas y la absorción entre muestras de agregados con y sin material menor de 75 μm . Las muestras a las que no se les remueven los finos presentan, por lo general, mayor absorción y menor densidad relativa que aquellas a las cuales se les removieron según el procedimiento de la norma INV E-214. En las muestras con finos se puede formar una capa alrededor de las partículas más gruesas del agregado fino durante el proceso de secado superficial. Debido a ello, la densidad relativa y la absorción se miden sobre las partículas aglomeradas y cubiertas y no sobre el material principal. Las magnitudes de las diferencias dependen de la cantidad de material menor de 75 μm y de la naturaleza del mismo. Cuando el material fino está presente en una proporción inferior a 4 % en masa, la diferencia entre las densidades relativas halladas sobre muestras lavadas y sin lavar, es menor de 0.03. Si los finos constituyen más del 8 % en masa, la diferencia puede ser tan alta como 0.13. Se ha encontrado que la densidad relativa determinada sobre un agregado fino del cual se han removido las partículas menores de 75 μm antes del ensayo, refleja con mayor exactitud la densidad relativa del material.

ANEXO B (Informativo)

RELACIONES ENTRE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA Y LA ABSORCIÓN DEFINIDAS DE ACUERDO CON LAS NORMAS INV E- 222 E INV E-223

B.1 Este anexo presenta algunas relaciones matemáticas entre los tres tipos de densidades relativas (gravidades específicas) y la absorción. Las relaciones son útiles para verificar la consistencia de los valores incluidos en un informe, o para calcular un valor no informado que se va a usar con otros datos informados. Los símbolos empleados son los siguientes:

S_d : Densidad relativa (gravidad específica) (SH);

S_s : Densidad relativa (gravidad específica) (SSS);

S_a : Densidad relativa aparente (gravidad específica aparente); A : % de absorción.

B.2 Las relaciones son las siguientes:

$$S_s = S_d \left(1 + \frac{A}{100} \right) \quad [222.20]$$

$$S_s = \frac{1}{\frac{1}{S_d} - \frac{A}{100}} = \frac{S_d}{1 - \frac{A}{100} S_d} \quad [222.21]$$

$$S_a = \frac{1}{1 + \frac{A}{100} - \frac{A}{100} S_d} \quad [222.22]$$

$$A = \frac{S_s}{S_d} - 1 \times 100 \quad [222.23]$$

$$A = \frac{S_a - S_s}{S_s (S_d - 1)} \times 100 \quad [222.24]$$