

## DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

INV E – 223 – 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 grueso (sin incluir los vacíos entre ellas), la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado grueso. Dependiendo del procedimiento utilizado, la densidad, en  $\text{kg/m}^3$  ( $\text{lb/pe}^3$ ), 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–223–07.

### 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  $\text{kg/m}^3$  ( $\text{lb/pie}^3$ ).
- 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  $24 \pm 4$  h, para llenar sus poros permeables. Una vez retiradas del agua, las partículas del agregado se secan superficialmente y se determina su masa. Posteriormente, se determina el volumen de la muestra por el método de desplazamiento de agua. 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 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.
- 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 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** *Balanzas* – Con legibilidad y exactitud de 0.05 % del peso de la muestra dentro del rango empleado en el ensayo, o 0.5 g, el que sea mayor. La balanza debe estar equipada con un sistema que permita suspender el recipiente con la muestra y determinar su masa dentro de agua.
- 5.2** *Canastillas metálicas (Figura 223 - 1)* – Como recipientes para las muestras en las pesadas sumergidas. Se dispondrá de dos tipos de canastillas metálicas, de aproximadamente igual base y altura, fabricadas con armazón de suficiente rigidez y paredes de tela metálica con malla de 3.35 mm (No. 6). Para agregados con tamaño máximo nominal igual o inferior a 37.5 mm (1 ½") se utilizarán canastillas con capacidades de 4 a 7 litros y para tamaños superiores, canastillas de mayor capacidad. El recipiente debe estar construido de tal forma que prevenga atrapar aire cuando se sumerja.
- 5.3** *Tanque de agua* – Un tanque que permita que la canastilla metálica con la muestra quede totalmente inmersa y suspendida debajo de la balanza.
- 5.4** *Dispositivo de suspensión* – Se utilizará cualquier dispositivo que permita suspender las canastillas de la balanza, una vez sumergidas. Debe ser del

menor tamaño posible para minimizar los efectos de una profundidad de inmersión variable.

- 5.5** *Tamices* – Un tamiz de 4.75 mm de abertura (No. 4) y los demás que se puedan requerir, según se describe en los numerales 6.2, 6.3 y 6.4.
- 5.6** *Horno* – De capacidad suficiente y que pueda mantener una temperatura uniforme de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ \text{F}$ ).



Figura 223 - 1. Canastilla metálica

## 6 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- 6.1** La muestra del agregado se debe obtener de acuerdo con la norma INV E–201.
- 6.2** Se comienza por mezclar completamente los agregados, cuarteándolos a continuación conforme se indica en la norma INV E–202, hasta obtener aproximadamente la cantidad mínima necesaria para el ensayo. Se debe eliminar el material inferior a 4.75 mm (No. 4) mediante tamizado en seco y lavado para remover los finos adheridos a la superficie. Si el agregado grueso contiene una cantidad sustancial de material menor de 4.75 mm, se debe usar el tamiz de 2.36 mm (No. 8), en lugar del de 4.75 mm (No. 4). Alternativamente, se puede separar el material menor de 4.75 mm y ensayarlo de acuerdo con la norma INV E–222.

*Nota 1: Si en la muestra de ensayo van a quedar partículas menores de 4.75 mm, se debe verificar que las aberturas de la canastilla de alambre sean de menor tamaño que el tamaño mínimo del agregado.*

- 6.3** La masa mínima de la muestra para ensayo se indica en la Tabla 223 - 1. Se permite ensayar el agregado en varias fracciones. Si la muestra contiene más de un 15 % retenido en el tamiz de 37.5 mm (1 ½"), el material retenido se ensaya en una o más fracciones separadas de las más pequeñas. Cuando se fracciona la muestra, la cantidad mínima para ensayo de cada fracción será la diferencia entre las masas prescritas en la Tabla 223 - 1 para los tamaños máximos y mínimos de cada fracción.

Tabla 223 - 1. Cantidades mínimas para ensayo

| TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL |     | MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA DE ENSAYO |     |
|-----------------------|-----|-------------------------------------|-----|
| mm                    | pg. | kg                                  | lb  |
| 12.5                  | ½   | 2                                   | 4.4 |
| 19                    | ¾   | 3                                   | 6.6 |
| 25                    | 1   | 4                                   | 8.8 |
| 37.5                  | 1 ½ | 5                                   | 11  |
| 50                    | 2   | 8                                   | 18  |
| 63                    | 2 ½ | 12                                  | 26  |
| 75                    | 3   | 18                                  | 40  |
| 90                    | 3 ½ | 25                                  | 55  |
| 100                   | 4   | 40                                  | 88  |
| 125                   | 5   | 75                                  | 165 |

- 6.4** Si la muestra se ensaya en dos o más fracciones, se debe determinar la granulometría de la muestra (norma INV E-213), incluyendo los tamices usados para separar las fracciones. Al calcular el porcentaje de material en cada fracción, se deberá ignorar la cantidad de material más fino que la abertura del tamiz 4.75 mm (No. 4) o del tamiz de 2.36 mm (No. 8), según el tamiz usado en acuerdo con lo indicado en el numeral 6.2.

*Nota 2: Según lo que indica la Tabla 223 - 1, al ensayar agregados gruesos de tamaño máximo nominal muy grande, la masa requerida de muestra es considerable. En tal caso, es conveniente ensayar el material sobre dos o más sub-muestras y combinar los valores obtenidos mediante los cálculos de la Sección 8.*

## 7 PROCEDIMIENTO

- 7.1** Se seca la muestra en un horno a  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  hasta masa constante, se deja al aire a temperatura ambiente durante 1 a 3 horas para muestras de tamaño máximo nominal hasta de 37.5 mm (1 ½"); o un lapso mayor para muestras

con tamaños mayores, hasta que el agregado sea manipulable (aproximadamente 50° C). Posteriormente se sumerge en agua, también a temperatura ambiente, durante un período de  $24 \pm 4$  horas.

- 7.2** 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  $24 \pm 4$  horas de inmersión.

*Nota 3: Los valores obtenidos para la absorción y la densidad relativa (gravedad específica) SSS, pueden ser significativamente más altos para agregados que no se han secado en el horno antes de la inmersión, que para los mismos agregados sometidos al procedimiento indicado en el numeral 7.1. Esto es especialmente válido cuando hay partículas mayores de 75 mm, puesto que es posible que el agua no alcance a penetrar suficientemente en los vacíos más profundos durante el período prescrito de inmersión.*

- 7.3** Después del período de inmersión, se saca la muestra del agua y se secan las partículas rodándolas sobre un paño absorbente de gran tamaño, hasta que se elimine el agua superficial visible, secando individualmente los fragmentos mayores (Figura 223 - 2). Se deben tomar las precauciones necesarias para evitar cualquier evaporación del agua de los poros durante la operación de secado de la superficie de las partículas. A continuación, se determina la masa de la muestra en la condición saturada con superficie seca (SSS). Estas y todas las pesadas subsiguientes se deberán realizar con una aproximación de 0.5 g o de 0.05 % de la masa de la muestra, la que sea mayor.



Figura 223 - 2. Secado superficial de la muestra

- 7.4** Después de determinar la masa en el aire, se coloca la muestra en el interior de la canastilla metálica y se determina su masa sumergida en el agua, a la

temperatura de  $23 \pm 2^\circ \text{C}$  (Figura 223 - 3). Se debe evitar la inclusión de aire en la muestra antes de determinar su masa, agitando la canastilla mientras está sumergida.



Figura 223 - 3. Determinación de la masa de la muestra sumergida

*Nota 4: La diferencia entre las masas de la muestra en el aire y sumergida en agua, es igual a la masa de agua desplazada por la muestra.*

*Nota 5: La canastilla y la muestra deberán quedar completamente sumergidas durante la pesada. El hilo de suspensión deberá ser lo más corto posible, para minimizar los efectos de una profundidad de inmersión variable.*

- 7.5** Se seca entonces la muestra en horno a  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  hasta masa constante, se enfría al aire a temperatura ambiente durante 1 a 3 h o hasta que el agregado sea manipulable (aproximadamente  $50^\circ \text{C}$ ) y, en seguida, se determina su masa.

## 8 CÁLCULOS

### 8.1 Densidad relativa (gravedad específica):

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

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica) SH} = \frac{A}{(R - C)} \quad [223.1]$$

- Donde: A: Masa al aire de la muestra seca al horno, g;
- B: Masa al aire de la muestra saturada y superficialmente seca, g;
- C: Masa aparente de la muestra saturada en agua, g.

**8.1.2** *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:

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica) SSS} = \frac{B}{(B - C)} \quad [223.2]$$

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

$$\text{Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)} = \frac{A}{(A - C)} \quad [223.3]$$

## 8.2 Densidad:

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

$$\text{Densidad (SH), kg/m}^3 = \frac{997.5 A}{(B - C)} \quad [223.4]$$

$$\text{Densidad (SH), lb/pe}^3 = \frac{62.27 A}{(B - C)} \quad [223.5]$$

**8.2.2** *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:

$$\text{Densidad SSS, kg/m}^3 = \frac{997.5 B}{(B - C)} \quad [223.6]$$

$$\text{Densidad SSS, lb/pie}^3 = \frac{62.27 B}{(B - C)} \quad [223.7]$$

**8.2.3** *Densidad aparente* – Se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Densidad aparente, kg/m}^3 = \frac{997.5 A}{(A - C)} \quad [223.8]$$

$$\text{Densidad aparente, lb/pie}^3 = \frac{62.27 A}{(A - C)} \quad [223.9]$$

*Nota 6: Las constantes utilizadas en las fórmulas de los numerales 8.2.1 a 8.2.3 (997.5 kg/m<sup>3</sup> y 62.27 lb/pie<sup>3</sup>) 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/m<sup>3</sup> y 62.43 lb/pie<sup>3</sup>) brinda suficiente exactitud en los resultados.*

**8.3** *Valores promedio de densidad y densidad relativa (gravedad específica)* – Cuando la muestra total para ensayo se ha dividido en fracciones más pequeñas como se indica en el numeral 6.3, se determina el promedio de los valores de densidad y densidad relativa (gravedad específica) calculados con las fórmulas de los numerales 8.1 y 8.2, con la siguiente expresión:

$$G = \frac{1}{\frac{P_1}{100 G_1} + \frac{P_2}{100 G_2} + \dots + \frac{P_n}{100 G_n}} \quad [223.10]$$

Donde: G: Densidad o densidad relativa (gravedad específica) promedio. Todas las formas de expresión de la densidad o de la densidad relativa (gravedad específica) se pueden promediar con esta fórmula;

G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>,... G<sub>n</sub>: Valores de densidad o densidad relativa (gravedad específica) de cada fracción, dependiendo del tipo de densidad o densidad relativa (gravedad específica) que se esté promediando;

P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>,...P<sub>n</sub>: Porcentajes respectivos de la masa de cada fracción con respecto a la masa total de la muestra.

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

$$\text{Absorción, \%} = \frac{B - A}{\Delta} \times 100 \quad [223.11]$$

**8.5 Valor promedio de absorción** – Cuando la muestra total para ensayo se ha dividido en fracciones más pequeñas como se indica en el numeral 6.3, se determina el promedio de los valores de absorción calculados para cada fracción con la fórmula del numeral 8.4, con la siguiente expresión:

$$A = \frac{P_1 A_1}{100} + \frac{P_2 A_2}{100} + \dots + \frac{P_n A_n}{100} \quad [223.12]$$

Donde: A: Absorción promedio, %;

$A_1, A_2, \dots, A_n$ : Porcentajes de absorción de cada fracción de la muestra total;

$P_1, P_2, \dots, P_n$ : Porcentajes respectivos de la masa de cada fracción con respecto a la masa total de la muestra.

## 9 INFORME

**9.1** Los resultados de densidad se deben reportar redondeados a 10 kg/m<sup>3</sup> o 0.5 lb/pie<sup>3</sup>, 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 7.2, 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 2) 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 el presente método de ensayo requiere un período de saturación de  $24 \pm 4$  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  $23^{\circ}\text{C}$ .

- 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.

Tabla 223 - 2. Precisión

| PARÁMETRO                                                 | DESVIACIÓN ESTÁNDAR (1s) | RANGO ACEPTABLE DE DOS RESULTADOS (d2s) |
|-----------------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------|
| <i>Precisión de un solo operador:</i>                     |                          |                                         |
| Densidad (SH), $\text{kg/m}^3$                            | 9                        | 25                                      |
| Densidad (SSS), $\text{kg/m}^3$                           | 7                        | 20                                      |
| Densidad aparente, $\text{kg/m}^3$                        | 7                        | 20                                      |
| Densidad relativa (gravedad específica) (SH)              | 0.009                    | 0.025                                   |
| Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)             | 0.007                    | 0.020                                   |
| Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) | 0.007                    | 0.020                                   |
| <i>Precisión varios laboratorios:</i>                     |                          |                                         |
| Densidad (SH), $\text{kg/m}^3$                            | 13                       | 38                                      |
| Densidad (SSS), $\text{kg/m}^3$                           | 11                       | 32                                      |
| Densidad aparente, $\text{kg/m}^3$                        | 11                       | 32                                      |
| Densidad relativa (gravedad específica) (SH)              | 0.013                    | 0.038                                   |
| Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)             | 0.011                    | 0.032                                   |
| Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) | 0.011                    | 0.032                                   |

## 11 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM C 127 – 07

## ANEXO A (Informativo)

### DESARROLLO DE ECUACIONES

**A.1** Para presentar la derivación de la fórmula incluida en el numeral 8.3, se presenta un caso simplificado con dos sólidos. El primero tiene una masa  $M_1$  (g) y un volumen  $V_1$  (ml). Su densidad relativa  $G_1$  es, entonces  $M_1/V_1$ . El segundo tiene una masa  $M_2$  (g), un volumen  $V_2$  (ml) y  $G_1 = M_1/V_1$ . Si los dos sólidos se consideran juntos, la densidad relativa (gravedad específica) de dicha combinación será la masa total en gramos sobre el volumen total en mililitros:

$$G = \frac{M_1 + M_2}{V_1 + V_2} \quad [223.13]$$

Cambiando la forma de la ecuación:

$$G = \frac{1}{\frac{V_1 + V_2}{M_1 + M_2}} = \frac{1}{\frac{V_1}{M_1 + M_2} + \frac{V_2}{M_1 + M_2}} \quad [223.14]$$

$$G = \frac{1}{\frac{M_1}{M_1 + M_2} \frac{V_1}{M_1} + \frac{M_2}{M_1 + M_2} \frac{V_2}{M_2}} \quad [223.15]$$

Sin embargo, las fracciones de masa de los dos sólidos son:

$$\frac{M_1}{M_1 + M_2} = \frac{P_1}{100} \quad [223.16]$$

Y

$$\frac{M_2}{M_1 + M_2} = \frac{P_2}{100} \quad [223.17]$$

Además

$$\frac{1}{G_1} = \frac{V_1}{M_1} \quad [223.18]$$

Y

$$\frac{1}{G_2} = \frac{V_2}{M_2} \quad [223.19]$$

Por lo tanto

$$G = \frac{1}{\frac{P_1}{100} \frac{1}{G_1} + \frac{P_2}{100} \frac{1}{G_2}} \quad [223.20]$$

Un ejemplo de los cálculos se presenta en la Tabla 223A - 1.

Tabla 223A - 1. Ejemplo de cálculo de los valores promedio de densidad relativa (gravedad específica) y absorción de un agregado grueso ensayado por fracciones

| TAMAÑO DE LA FRACCIÓN |           | % EN LA MUESTRA ORIGINAL | MASA USADA EN EL ENSAYO, g | DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) SSS | ABSORCIÓN, % |
|-----------------------|-----------|--------------------------|----------------------------|---------------------------------------------|--------------|
| mm                    | pg.       |                          |                            |                                             |              |
| 4.75 a 12.5           | No. 4 a ½ | 44                       | 2213.0                     | 2.72                                        | 0.4          |
| 12.5 a 37.5           | ½ a 1 ½   | 35                       | 5462.5                     | 2.56                                        | 2.5          |
| 37.5 a 63             | 1 ½ a 2 ½ | 21                       | 12593.0                    | 2.54                                        | 3.0          |

Densidad relativa promedio (gravedad específica) SSS

$$G = \frac{\frac{44}{100} \times \frac{1}{2.72} + \frac{35}{100} \times \frac{1}{2.56} + \frac{21}{100} \times \frac{1}{2.54}}{\frac{44}{100} + \frac{35}{100} + \frac{21}{100}} = 2.62$$

Absorción promedio

$$A = \frac{44 \times 0.4}{100} + \frac{35 \times 2.5}{100} + \frac{21 \times 3.0}{100} = 1.7 \%$$

## ANEXO B (Informativo)

### RELACIONES ENTRE LAS DENSIDADES RELATIVAS (GRAVEDADES ESPECÍFICAS) Y LAS ABSORCIONES DEFINIDAS EN 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:

$$S_s = S_d \left( 1 + \frac{A}{100} \right) \quad [223.21]$$

$$S_s = \frac{1}{\frac{1}{S_d} - \frac{A}{100}} = \frac{S_d}{1 - \frac{A}{100}} \quad [223.22]$$

$$S_a = \frac{1}{\frac{1 + \frac{A}{100}}{S_s} - \frac{A}{100}} \quad [223.23]$$

$$A = \left( \frac{S_s}{S_d} - 1 \right) 100 \quad [223.24]$$

$$A = \left( \frac{S_a - S_s}{S_a(S_s - 1)} \right) 100 \quad [223.25]$$