

## UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA

“JOSE SIMEON CAÑAS”, UCA

Departamento de Mecánica Estructural, Apartado Postal (01)168, Autopista Sur, San Salvador, El Salvador, América Central Tel: +503-2210 6600. Fax: +503-2210 6664

### Laboratorio de: MATERIALES DE CONSTRUCCION

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

### NORMAS:

ASTM C 128 – 01. Método de ensayo estándar para determinar la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y la absorción de agregados finos.

ASTM C 29/C 29M – 97. Método de ensayo para el peso unitario y vacíos en los agregados.

ASTM C 70 – 94 (reaprobada en 2001). Método de ensayo para la humedad superficial en agregado fino.

ASTM C 125 – 03. Terminología relacionada con el concreto y agregados para el concreto.

ASTM C 127 – 01. Método de ensayo para determinar la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y la absorción de agregados gruesos.

ASTM C 188 – 95. Método de ensayo para la densidad del cemento hidráulico.

ASTM C 566 – 97. Método de ensayo para el contenido de humedad total del agregado por secado.

ASTM C 670 – 03. Práctica para preparar la declaración de precisión y tendencia para métodos de ensayo en materiales de construcción.

ASTM C 702 – 01. Práctica para la reducción de muestras de agregado a tamaños de ensayo.

ASTM D 75 – 97. Práctica para muestreo de agregados.

AASHTO T 84. Gravedad específica y absorción del agregado fino.

### **OBJETIVOS:**

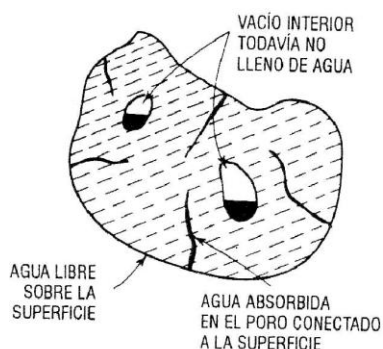
- Enseñar los procedimientos empleados para la obtención de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción de los agregados finos.
- Distinguir entre los conceptos de densidad, densidad aparente, densidad relativa y densidad relativa aparente.
- Reforzar el concepto de cuarteo de una muestra e indicar la importancia que tiene éste en los diferentes tipos de ensayo realizados en el laboratorio.

### **DISCUSIÓN TEÓRICA:**

(basado en Nosmas ASTM indicadas; *Waddell J, & Dobrowolsky J, Manual de la Construcción con Concreto, Tomo I*, tercera edición 2001, Editorial McGraw-Hill, México)

Cuando se examina la aptitud física de los agregados, es conveniente conocer y valorar las características propias de cada material, entre las cuales podemos nombrar la densidad, el peso específico y la absorción.

Para poder medir las características anteriores es importante entender que todos los agregados son porosos hasta cierto punto, lo que posibilita la entrada de agua en los espacios de los poros. Un agregado húmedo puede entonces tener agua tanto en su interior como en el exterior, como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 1** Partícula de agregado húmedo en la que se muestra la distribución de agua interior y exterior.

Tomado de: Waddell J. y Dobrowolski J., *Manual de la Construcción con Concreto*, p. 2.20

Se conoce como *absorción*, al incremento en masa del agregado debido a la penetración de agua en los poros de las partículas, durante un período de tiempo prescrito, sin incluir

el agua adherida en la superficie de las partículas, expresado como porcentaje de la masa seca.

La *Densidad*, de un material se define, como la masa por unidad de volumen de un material, expresada en  $\text{kg/m}^3$  ( $\text{lb/pie}^3$ ).

Para el caso de los agregados pueden obtenerse distintos valores, en función de la condición en que la masa se esté considerando en el cálculo, pudiéndose encontrar los agregados en las siguientes condiciones:

- a) *Secados al horno (SH)*, condición en la cual han sido secados por calentamiento en un horno a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  por suficiente tiempo para alcanzar una masa constante.
- b) *Saturados superficialmente secos (SSS)*, condición en la cual los poros permeables de las partículas de agregado son llenadas con agua, a través de una prolongada inmersión en agua por un período de tiempo prescrito, pero sin agua libre sobre la superficie de las partículas.

La norma ASTM C 128 define y manda la determinación de las siguientes densidades:

- a) *Densidad (SH)*, la masa de las partículas de agregado secadas al horno por unidad de volumen de partículas de agregado, incluyendo el volumen de poro permeables e impermeables en las partículas, pero sin incluir los vacíos entre ellas.
- b) *Densidad (SSS)*, la masa de agregado saturado superficialmente seco por unidad de volumen de las partículas de agregado, incluyendo el volumen de vacíos impermeables y poros llenos de agua dentro de las partículas, pero no incluye los poros entre las partículas.
- c) *Densidad aparente*, la masa por unidad de volumen de la porción impermeable de las partículas de agregado.
- d) *Densidad relativa (gravedad específica)*, la relación de la densidad de un material a la densidad del agua a una temperatura declarada, los valores son adimensionales.
- e) *Densidad relativa (gravedad específica), (SH)*, la relación de la densidad (SH) del agregado a la densidad del agua a una temperatura declarada.
- f) *Densidad relativa (gravedad específica), (SSS)*, la relación de la densidad (SSS) del agregado a la densidad del agua a una temperatura declarada.
- g) *Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)*, la relación de la densidad aparente de agregado a la densidad del agua a una temperatura declarada.

La densidad relativa (gravedad específica) es la característica generalmente usada para el cálculo del volumen ocupado por el agregado en mezclas de concreto de cemento Pórtland, concreto bituminoso y otras mezclas que son proporcionadas o analizadas en base a un volumen absoluto. También es utilizada en el cálculo de vacíos en los agregados en el método de ensayo C 29/C 29M.

La densidad relativa (gravedad específica) (SSS) es usada en la determinación de la humedad superficial del agregado fino por desplazamiento de agua en el método de ensayo C 70. También es usada en el agregado húmedo, esto es, si su absorción ha sido

satisfecha. A la inversa, la densidad o densidad relativa (gravedad específica) (SH) es usada para cálculos cuando el agregado está seco o se asume estar seco.

La densidad aparente y la densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) pertenece al material sólido de partículas constituyentes, no incluyendo el espacio de poros entre partículas, que es accesible al agua. Este valor no es ampliamente usado en la tecnología de agregados de construcción.

Los valores de absorción son usados para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida en los espacios de poro en el interior de las partículas constituyentes, comparado con la condición seca, cuando se considera que el agregado ha estado en contacto con agua por un período suficiente para poder satisfacer la absorción potencial.

El ensayo se basa en sumergir una muestra en agua por  $24 \pm 4$  h a esencialmente poros llenos. Después de transcurrido el tiempo, el material se remueve del agua, se seca la superficie de las partículas y se determina la masa. La muestra o una porción de ella se coloca en un recipiente graduado y el volumen de la muestra se determina por el método gravimétrico o volumétrico.

Finalmente, la muestra se seca al horno y la masa se determina de nuevo. Utilizando los valores de masa obtenida y volumen, es posible calcular la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y la absorción.

El procedimiento que se sigue en este ensayo no está destinado para usarse con agregados de peso ligero, debido a que los poros en este tipo de agregados no están necesariamente llenos de agua después de la inmersión de 24 horas.

Valores promedio para las propiedades de absorción y gravedad específica de los principales tipos de rocas se presentan en la siguiente tabla:

Tipo de roca	Gravedad específica (SH)	Absorción, <sup>1</sup> (%)
<b>Igneas</b>		
Granito	2.65	0.3
Sienita	2.74	0.4
Diorita	2.92	0.3
Gabro	2.96	0.3
Peridotita	3.31	0.3
Felsita	2.66	0.8
Basalto	2.86	0.5
Diabasa	2.96	0.3
<b>Sedimentarias</b>		
Piedra caliza	2.66	0.9
Dolomita	2.70	1.1
Arcilla esquistosa	1.80-2.50	
Arenisca	2.54	1.8

Chert	2.50	1.6
Conglomerado	2.68	1.2
Brecha	2.57	1.8
<b>Metamórficas</b>		
Gneis	2.74	0.3
Esquisto	2.85	0.4
Anfibolita	3.02	0.4
Pizarra	2.74	0.5
Cuarzita	2.69	0.3
Mármol	2.63	0.2
Serpentina	2.62	0.9

<sup>1</sup>Después de inmersión en agua a la temperatura y presión atmosféricas.

**Tabla 1** Valores promedio para propiedades físicas de los principales tipos de rocas.

Tomado de: Waddell J. y Dobrowolski J., Manual de la Construcción con Concreto, p. 2.9

## **MATERIAL Y EQUIPO:**

### **Equipo.**

- a. Balanza o báscula con una capacidad de 1 kg o más, sensibilidad a 0.1 g o menos y precisión de 0.1% de la carga de ensayo en algún punto con el rango de uso para este método de ensayo. Dentro de un rango de 100g de la carga de ensayo, una diferencia de lecturas será precisa con 0.1 g.
- b. Picnómetro (para usar con el procedimiento gravimétrico), un frasco u otro recipiente compatible en el cual la muestra de ensayo de agregado fino puede ser fácilmente introducida y en el cual el volumen contenido puede ser reproducido con  $\pm 0.1 \text{ cm}^3$ . El volumen del recipiente lleno a la marca será al menos 50% mayor que el espacio requerido para acomodar la muestra de ensayo.
- c. Frasco (para usar con el procedimiento volumétrico), un frasco Le Chatelier es satisfactorio para una muestra de ensayo de aproximadamente 55 g.
- d. Molde y pisón para ensayo de humedad superficial, el molde deberá ser metálico, con la forma de un cono truncado, con las dimensiones siguientes:  $40 \pm 3 \text{ mm}$  de diámetro interno en el borde superior,  $90 \pm 3 \text{ mm}$  de diámetro interno en la base y  $75 \pm 3 \text{ mm}$  de altura, con un espesor mínimo del metal de 0.8 mm. El pisón deberá ser metálico con una masa de  $340 \pm 15 \text{ g}$  y una cara plana y circular de  $25 \pm 3 \text{ mm}$  de diámetro.
- e. Horno de convección.
- f. Cuchara de albañilería.
- g. Cucharón o cuchara grande.
- h. Espátula.
- i. Malla N°4.
- j. Bandeja metálica mediana.

En la figura 2 se muestran los equipos para los procedimientos gravimétrico y volumétrico.



a) Procedimiento gravimétrico

b) Procedimiento volumétrico

**Figura 2** Equipo utilizado en el ensayo.**Materiales.**

- a. Arena sumergida en agua por espacio de 24 horas.
- b. Agua destilada.
- c. 3 bolsas de hielo.

**PROCEDIMIENTO DE ENSAYO:****Muestreo.**

Muestree el agregado de acuerdo con la Práctica D 75, ver figura 3. Mezcle completamente la muestra y redúzcala para obtener un espécimen de ensayo de aproximadamente 1 kg, usando el procedimiento aplicable descrito en la Práctica C 702.

**Fig. 3** Muestreo de la arena a ensayar.

### Preparación del espécimen de ensayo.

Seque el espécimen de ensayo en un recipiente adecuado o vasija, a masa constante a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C. Permítale enfriar a una temperatura de manejo confortable, cubra con agua ya sea por inmersión o por adición de al menos 6% de humedad del agregado fino y permita reposar por  $24 \pm 4$  horas, (ver figura 4). Donde los valores de la absorción y la densidad relativa (gravedad específica) son para usarse en proporcionamiento de mezclas de concreto en los cuales el agregado estará en su condición de humedad natural, el requerimiento para secado inicial es opcional, y si la superficie de las partículas en la muestra han sido mantenidas continuamente húmedas hasta que sean ensayadas, el requerimiento para  $24 \pm 4$  horas también es opcional.



**Figura 4** Muestra en proceso de saturación.

Decante el exceso de agua con cuidado para evitar la pérdida de finos (ver figura 4.5), esparza la muestra en una superficie plana, no absorbente, expuesta a una ligera corriente de aire y remueva frecuentemente para asegurar un secado homogéneo. Continúe esta operación hasta que la muestra se aproxime a la condición de un flujo libre. Siga el procedimiento descrito en el literal (c), para determinar si la humedad superficial está presente en las partículas constituyentes del agregado fino. Haga el primer intento para humedad superficial cuando hay alguna humedad superficial en la muestra, continúe secando con movimientos constantes y pruebe a intervalos frecuentes hasta que la muestra haya alcanzado la condición de superficialmente seca. Si el primer intento de prueba de humedad superficial indica que la humedad superficial no está presente, este ha sido secado pasando a la condición saturada superficialmente seca. En este caso, mezcle completamente unos pocos mililitros de agua con el agregado fino y permita al espécimen permanecer en un recipiente cubierto por unos 30 minutos. Después finalice el proceso de secado y pruebe a intervalos frecuentes hasta lograr la condición de superficialmente seco.



**Figura 5** Decantado de la muestra.

### **Ensayo para humedad superficial.**

Sujete el molde firmemente sobre una superficie lisa y no absorbente con el diámetro mayor hacia abajo. Coloque una porción de agregado fino parcialmente seco y suelto dentro del molde, llenándolo hasta que se desborde y apilando el material adicional por encima del borde superior del molde, sosteniéndolo con los dedos. Ligeramente apisone el agregado fino dentro del molde con 25 golpes ligeros del pisón. Inicie cada caída 5 mm arriba de la superficie del agregado fino. Permita al pisón caer libremente bajo la atracción gravitacional en cada caída. Ajuste la altura inicial a la elevación de la nueva superficie después de cada golpe y distribuya los golpes sobre la superficie. Remueva la arena suelta de la base y levante el molde verticalmente. Si la humedad superficial está aún presente, el agregado fino retendrá la forma del molde. Un desplome ligero del agregado moldeado indica que este ha alcanzado una condición de superficialmente seco, (ver figura 6b).

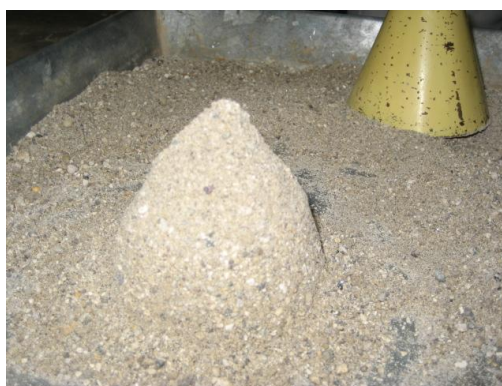


a) arena en condición saturada

b) arena en condición saturada superficialmente seca



c) arena en condición seca



**Figura 6** Arena compactada en condiciones saturada, saturada superficialmente seca y seca.

Algún agregado fino con partículas predominantemente de forma angular o con un alto porcentaje de finos pueden no desplomarse en la prueba del cono a pesar de haber alcanzado la condición de superficialmente seco. Un ensayo por caída de una puñada de agregado fino sobre el cono de prueba desde una altura de 100 a 150 mm por encima de la superficie, y observando la presencia de finos secos indican este problema. Para estos materiales, la condición de saturado superficialmente seco se considera como el punto donde un lado del agregado fino se desploma ligeramente al quitar el molde.

La norma C 128 presenta en el numeral 8.3.1, cuatro criterios que son usados en materiales que no presentan revenimiento con claridad.

#### **Procedimiento gravimétrico (picnómetro).**

- a. Llene parcialmente el picnómetro con agua. Introduzca en el picnómetro  $500 \pm 10\text{g}$  de agregado fino saturado superficialmente seco, preparado como se describe en 4.4.2 y llene con agua adicional hasta aproximadamente el 90% de la capacidad. Agite el picnómetro manualmente o mecánicamente.



**Figura 7** Picnómetro mas arena mas agua

a.1. Agitado manual, manualmente rueda, invierta y agite el picnómetro para eliminar todas las burbujas de aire, (ver figura 7). Normalmente se requiere de 15 a 20 minutos para eliminar las burbujas de aire por métodos manuales. Se ha encontrado que sumergir la esquina de una toalla de papel dentro del picnómetro es útil para dispersar la espuma que a veces se forma cuando se eliminan las burbujas de aire. Opcionalmente, puede ser usada una pequeña cantidad de alcohol isopropílico para dispersar la espuma.



**Figura 8** Desairado de la muestra a través del agitado manual.

a.2 Agitado mecánico, Agite mecánicamente el picnómetro por vibración externa, de tal manera que no degrade la muestra. Un nivel de agitación ajustado para justamente un conjunto individual de partículas en movimiento es suficiente para promover el desairado sin degradación. Un agitador mecánico puede ser considerado aceptable para su uso, si ensayos de comparación para períodos de cada seis meses de uso, muestran variación menor que el rango aceptable de dos resultados ( $d_{2s}$ ) indicados en la tabla 2, de los resultados de agitación manual del mismo material.

	Desviación estándar (1s) <sup>A</sup>	Rango aceptable de dos resultados (d2s) <sup>A</sup>
<i>Precisión de un solo operador</i>		
Densidad (SH), kg/m <sup>3</sup>	11	13
Densidad (SSS), kg/m <sup>3</sup>	9.5	27
Densidad aparente, kg/m <sup>3</sup>	9.5	27
Densidad relativa (gravedad específica) (SH), kg/m <sup>3</sup>	0.011	0.032
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS), kg/m <sup>3</sup>	0.0095	0.027
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente), kg/m <sup>3</sup>	0.0095	0.027
Absorción <sup>B</sup> , %	0.11	0.31
<i>Precisión multilaboratorio</i>		
Densidad (SH), kg/m <sup>3</sup>	23	64
Densidad (SSS), kg/m <sup>3</sup>	20	56
Densidad aparente, kg/m <sup>3</sup>	20	56
Densidad relativa (gravedad específica) (SH), kg/m <sup>3</sup>	0.023	0.066
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS), kg/m <sup>3</sup>	0.020	0.056
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente), kg/m <sup>3</sup>	0.020	0.056
Absorción <sup>B</sup> , %	0.23	0.66

<sup>A</sup> Estos números, representan, respectivamente, los límites (1s) y (d2s) descritos en la práctica C 670. Las precisiones estimadas fueron obtenidas del análisis combinado de datos de muestras de referencia del Laboratorio AASHTO, usando tiempos de saturación de 15 a 19 horas, y de otros laboratorios, usando tiempos de saturación de  $24 \pm 4$  horas. Las pruebas fueron ejecutadas en agregados de peso normal, e iniciadas con agregados en condición seca en horno.

<sup>B</sup> Las precisiones estimadas están basadas en agregados con absorciones menores que 1% y pueden diferir para agregado fino manufacturado y agregado que tengan valores de absorción mayores que 1%.

**Tabla 2** Precisión

- b. Después de eliminar todas las burbujas de aire (ver figura 8), ajuste la temperatura del picnómetro y su contenido a  $23.0 \pm 2.0$  °C si es necesario por inmersión parcial en agua circulando, y lleve el nivel del agua en el picnómetro a su capacidad de calibración. Determine la masa total del picnómetro, el espécimen y el agua.
- c. Remueva el agregado fino del picnómetro, seque a masa constante a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C, enfríe al aire a la temperatura del cuarto por  $1 \pm \frac{1}{2}$  hora y determine la masa.
- d. Determine la masa del picnómetro lleno con agua a su capacidad de calibración, a una temperatura de  $23.0 \pm 2.0$  °C.



**Fig. 9** Eliminado de burbujas.

**Procedimiento volumétrico (frasco Le Chatelier).**

- a. Llene el frasco inicialmente con agua a un punto del cuello entre la marca de 0 y 1 mL. Registre esta lectura inicial con el frasco y el contenido con un rango de temperatura de  $23.0 \pm 2.0$  °C. Añada  $55 \pm 5$  g de agregado fino en la condición saturado superficialmente seco (u otra cantidad medible como necesaria). Después que todo el agregado fino ha sido introducido, coloque el tapón en el frasco y dele vueltas en una posición inclinada, o muévalo suavemente en un círculo horizontal, de tal forma que libere el aire atrapado, continuando así hasta que suban más burbujas a la superficie. Puede ser utilizada una pequeña cantidad medida (que no exceda de 1 mL) de alcohol isopropílico, para eliminar la espuma que aparece en la superficie del agua. El volumen de alcohol usado debe ser restado de la lectura final (R2). Tome una lectura final con el frasco y contenido dentro de 1 °C de la temperatura original, (ver figura 9).



**Fig. 10** Lectura de Frasco Le Chatelier con muestra y agua desairadas.

- b. Para la determinación de la absorción, use una porción separada de  $500 \pm 10$  g de agregado fino saturado superficialmente seco, seque a masa constante y determine la masa seca.

## CALCULOS.

a. *Simbología utilizada:*

- A : masa del espécimen secado al horno, g.  
 B : masa del picnómetro lleno de agua, a la marca de calibración, g.  
 C : masa del picnómetro lleno con el espécimen y agua a la marca de calibración, g.  
 $R_1$  : lectura inicial del nivel de agua en el frasco Le Chatelier, mL.  
 $R_2$  : lectura final del agua en el frasco Le Chatelier, mL.  
 S : masa del espécimen SSS (usado en el procedimiento gravimétrico para densidad y densidad relativa (gravedad específica), o para absorción con ambos procedimientos), g.  
 $S_1$  : masa del espécimen SSS (usado en el procedimiento volumétrico para la densidad y densidad relativa (gravedad específica)), g.

b. *Densidad relativa (gravedad específica):*

En la siguiente tabla se presentan las expresiones para el cálculo de las densidades relativas:

	Procedimiento gravimétrico	Procedimiento volumétrico
Densidad relativa (gravedad específica) secada al horno (SH)	$\frac{A}{(B_1 - S) C}$	$\frac{S A_1}{0.997 \frac{B_2}{R_2} R_1}$
Densidad relativa (gravedad específica) saturada superficialmente seca (SSS)	$\frac{S}{(B_1 - S) C}$	$\frac{S}{0.997 \frac{B_2}{R_2} R_1}$
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	$\frac{A}{(B_1 - A) C}$	$\frac{S A_1}{0.997 \frac{B_2}{R_2} R_1 \left[ \frac{S_1}{S} \right] S_1 - A_1}$

**Tabla 3** Fórmulas para el cálculo de densidades relativas en agregado fino.

c. *Densidad:*

Se presentan a continuación las ecuaciones para el cálculo de las densidades:

	Procedimiento gravimétrico	Procedimiento volumétrico
Densidad secada al horno (SH)	$995 \frac{A}{(B_1 - S) C}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$995 \frac{S A_1}{0.997 \frac{B_2}{R_2} R_1}$ (kg/m <sup>3</sup> )
	$627 \frac{A}{(B_1 - S) C}$ (lb/pie <sup>3</sup> )	$627 \frac{S A_1}{0.997 \frac{B_2}{R_2} R_1}$ (lb/pie <sup>3</sup> )

Densidad saturada superficialmente seca (SSS)	$\frac{997.5}{B_s - Q} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	$\frac{997.5}{0.9975 R} \text{ (kg/m}^3\text{)}$
	$\frac{62.7}{B_s - Q} \text{ (lb/pie}^3\text{)}$	$\frac{62.7}{0.9975 R} \text{ (lb/pie}^3\text{)}$
Densidad aparente	$\frac{997.5}{B_A - Q} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	$\frac{997.5}{0.9975 R - \left(\frac{S}{S} S_A\right)} \text{ (kg/m}^3\text{)}$
	$\frac{62.7}{B_A - Q} \text{ (lb/pie}^3\text{)}$	$\frac{62.7}{0.9975 R - \left(\frac{S}{S} S_A\right)} \text{ (lb/pie}^3\text{)}$

**Tabla 4** Fórmulas para el cálculo de densidades en agregado fino.

Los valores constantes usados en el cálculo de las densidades (997.5 kg/m<sup>3</sup> y 62.27 lb/pie<sup>3</sup>) son la densidad del agua a 23 °C. Algunas autoridades recomiendan usar la densidad del agua a 4° C (1000 kg/cm<sup>3</sup> ó 1000 Mg/m<sup>3</sup> ó 62.43 lb/pie<sup>3</sup>) como dato suficientemente preciso.

d. *Absorción:*

$$\text{Absorción} = \frac{W - A}{A} * 100$$

### **REFERENCIAS:**

*American Society for Testing and Materials, Norma C 128, Volumen 04.02, 2003.*

*Waddell J, & Dobrowolsky J, Manual de la Construcción con Concreto, Tomo I, tercera edición 2001, Editorial McGraw-Hill, México.*