

## 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 TOTAL (PESO UNITARIO) Y VACÍOS EN AGREGADOS PARA CONCRETO

### 3.1 NORMAS:

ASTM C 29-97 Método estándar de ensayo para densidad total (peso unitario) y vacíos en los agregados.

ASTM C 125-03 Terminología relativa a concreto y agregados para concreto.

ASTM C 127-00 Método estándar para gravedad específica y absorción del agregado grueso.

ASTM C 128-00 Método estándar para gravedad específica y absorción del agregado fino.

ASTM C 138-00 Método estándar para peso unitario y contenido de aire (gravimétrico) del concreto.

ASTM C 670-00 Práctica para preparar declaraciones de precisión y tendencia para métodos de ensayo en materiales de construcción.

ASTM C 702-00 Práctica para reducción de muestras de agregado a tamaños de ensayo.

ASTM D 75-97 Práctica para muestreo de agregados.

### 3.2 OBJETIVOS:

Desarrollar el procedimiento y cálculo para determinar el peso unitario en agregados para concreto.

### **3.3 DISCUSIÓN TEÓRICA:**

En ASTM C 29 se define la densidad total o bruta (*bulk density*) o peso unitario de los agregados como la masa de un volumen unitario de agregado, en la cual el volumen incluye el volumen de las partículas individuales y el volumen de vacíos entre las partículas.

De forma resumida el peso unitario consiste en determinar la densidad total como el resultado de dividir la masa de un agregado en estado seco (en un determinado nivel de consolidación o compactación) y el volumen que éste ocupa incluyendo los vacíos de aire entre partículas y los de absorción y se expresa en lbf/pie<sup>3</sup> (kg/m<sup>3</sup>). Los resultados obtenidos en este ensayo son necesarios para el proporcionamiento de mezclas de concreto hidráulico y para conversiones masa/volumen en la aceptación de materiales en la obra.

El término común en nuestro medio con el cual se denomina la densidad total en agregados es la determinación del pesos volumétricos sueltos y varillado del agregado y se abrevian PVS y PVV respectivamente.

El procedimiento de este ensayo consiste en que en base al tamaño máximo nominal del agregado, de selecciona el volumen mínimo apropiado del molde a utilizar para determinar el peso unitario. Las características geométricas y de espesor del molde están reguladas como se muestran en las tabla 3-1 y 3-2:

<b>Tamaño máximo nominal del agregado</b>		<b>Capacidad del depósito</b>	
<b>Pulgadas</b>	<b>mm</b>	<b>pie<sup>3</sup></b>	<b>L ( m<sup>3</sup> )</b>
½	12.5	1/10	2.8 (0.0028)
1	25.0	1/3	9.3 (0.0093)
1 ½	37.5	½	14 (0.014)
3	75	1	28 (0.028)
4	100	2 ½	70 (0.070)
5	125	3 ½	100 (0.100)

**Tabla 3-1: Capacidad del depósito medidor ( molde) en función del tamaño máximo nominal del agregado.**

<b>Capacidad del depósito medidor (molde)</b>	<b>Espesor del metal, mínimo</b>		
	<b>Parte inferior</b>	<b>Arriba de 1 ½" o 38 mm</b>	<b>Pared restante</b>
< 0.4 pie <sup>3</sup>	0.20"	0.10"	0.10"
De 0.4 a 1.5 pie <sup>3</sup> (inclusive)	0.20"	0.20"	0.12"
>1.5 a 2.8 pie <sup>3</sup> (inclusive)	0.40"	0.25"	0.15"
> 2.8 a 4.0 pie <sup>3</sup> (inclusive)	0.50"	0.30"	0.20"
11 L	5.0 mm	2.5 mm	2.5 mm
De 11 a 42 L (inclusive)	5.0 mm	5.0 mm	3.0 mm
> 42 a 80 L (inclusive)	10.0 mm	6.4 mm	3.8 mm
> 80 a 133 L (incluye)	13.0 mm	7.6 mm	5.0 mm

**Tabla 3-2: Requisitos de espesor para depósitos a ser utilizados para la determinación de pesos unitarios.**

Asimismo se establecen otros requerimientos para los moldes tales como que sean de forma cilíndrica (cuya relación diámetro a altura sean similares; la altura no debe ser menor que el 80% ni mayor que 150% del diámetro), que disponga de asas, que sea impermeable y con la parte superior e inferior planos y nivelados para que mantenga su forma ante la carga que se aplique. Por otra parte que el borde superior sea liso y plano en 0.01” (0.25 mm) y ser paralelo al fondo dentro de 0.5°, la pared interior debe ser lisa y continua y si va a ser utilizado para la determinación del peso unitario en concreto (según norma ASTM C 138) entonces el molde debe estar hecho de acero u otro metal que no permita o sea sujeto de inmediato al ataque de la pasta de cemento.

La serie de moldes a utilizar se calibran para determinar su volumen por medio de agua, llenando el recipiente completamente con agua, nivelando la superficie superior con el auxilio de una placa lisa de vidrio y procurando eliminar las burbujas de aire y el exceso de agua e inmediatamente se determina el peso del molde y agua y la temperatura del agua, y luego se estima el volumen ocupado en el recipiente utilizando el siguiente principio:

$$\gamma (^{\circ}T)_{\text{agua}} = W/V \quad \text{Ec. 3-1}$$

Donde:

- $\gamma (^{\circ}T)_{\text{agua}}$  = Peso volumétrico del agua (en función de la temperatura)
- W = Peso de la masa de agua a determinada temperatura
- V = Volumen del recipiente

De lo anterior se tiene conocido el peso de agua W que ocupa el volumen del recipiente y por medio de la temperatura se procede a determinar el peso volumétrico de agua  $\gamma (^{\circ}T)_{\text{agua}}$  con el auxilio de la tabla 3-3 (interpolando si es necesario), conocida las 2 variables anteriores se procede a despejar el volumen V y se tiene:

$$V = W / \gamma (^{\circ}T)_{\text{agua}} \quad \text{Ec. 3-2}$$

Temperatura		Densidad	
°F	°C	lb/pie <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
60	15.6	62.366	999.01
65	18.3	62.336	998.54
70	21.1	62.301	997.97
73.4	23.0	62.274	997.54
75	23.9	62.261	997.32
80	26.7	62.216	996.59
90	29.4	62.166	995.83

**Tabla 3-3: Densidad del agua en función de la temperatura**

Los moldes deberán recalibrarse al menos una vez al año o cuando exista alguna razón para cuestionar la precisión de la calibración.

El tamaño de la muestra deberá ser aproximadamente del 125 a 200% de la cantidad requerida para llenar el molde medidor y deberá manejarse con los cuidados respectivos para evitar la segregación. La muestra deberá secarse hasta obtener masa constante en uno horno a una temperatura de 230±9°F (110±5°C).

Para determinar la densidad total se realiza por lo general en dos estados de consolidación o compactación que son:

a) En estado suelto (o peso volumétrico suelto PVS)

Este procedimiento se utiliza para agregados que tengan un tamaño máximo nominal menor o igual 1 ½” (37.5 mm), básicamente se introduce el agregado en el molde seleccionado en su estado suelto, llenándolo por medio de una cuchara o pala a una altura que no exceda de 2” por encima del borde superior del molde hasta que el material rebose el molde; teniendo el cuidado de evitar en la medida de lo posible la segregación. A continuación se nivela la superficie con una regla enrasadora (en agregado fino o grueso) teniendo el cuidado de no presionar mucho para no compactar ligeramente su estado suelto o nivelando directamente con los dedos (en agregado grueso) de forma tal que ninguna pieza se proyecte o balancee los huecos en la superficie por debajo del borde del recipiente. A continuación se determinan los pesos del molde con el agregado y del peso del molde solo (con una precisión de al menos 0.1 lb o 0.05 kg) y se procede a realizar la serie de cálculos (con las unidades consistentes) como se muestra a continuación:

$$PVS=(G_s-T)/V \text{ ó } (G-T)\times(1/V) = (G-T)\times F \quad \text{Ec. 3-3}$$

Donde:

- PVS = Peso volumétrico suelto en lb/pie<sup>3</sup> o kg/m<sup>3</sup>.
- G<sub>s</sub> = Peso del agregado suelto más molde en lb o kg
- T = Peso del molde en lb o kg
- V = Volumen del molde en pie<sup>3</sup> o m<sup>3</sup>

Nota: El valor de peso volumétrico suelto debe reportarse con una precisión de 1 lb/pie<sup>3</sup> o 10 kg/m<sup>3</sup> y deben hacerse al menos 2 determinaciones y verificar que la desviación estándar (1s) con un solo operador no exceda de 0.88 lb/pie<sup>3</sup> (14 kg/m<sup>3</sup>).

Si desea conocer el valor de densidad total pero en estado saturado superficialmente seco (SSS) y se dispone del valor de absorción respectivo obtenido por medio de los procedimientos descritos en ASTM C 127 o C 128, puede determinarse la densidad total en condición SSS con la siguiente expresión:

$$PVS_{SSS}=PVS\times(1+A/100) \quad \text{Ec. 3-4}$$

Donde:

- PV<sub>SSS</sub> = Peso volumétrico suelto en condición saturado superficialmente seco (SSS) en lb/pie<sup>3</sup> o kg/m<sup>3</sup>.
- A = Absorción, en %

Para determinar el contenido de vacíos se requiere el valor de gravedad específica obtenida de acuerdo a los procedimientos descritos en ASTM C-127 o C 128 según corresponda y se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de vacíos} = 100 \times (S\gamma_{\text{agua}} - PVS) / (S\gamma_{\text{agua}}) \quad \text{Ec. 3-5}$$

Donde:

% de vacíos = Porcentaje de vacíos, en %.

S = Gravedad específica del agregado (adimensional)

$\gamma_{\text{agua}}$  = Densidad del agua, 62.3 lb/pie<sup>3</sup> o 998 kg/m<sup>3</sup>

b) En estado compacto

La determinación del peso volumétrico en su estado compacto puede realizarse de dos maneras, dependiendo del tamaño máximo nominal del agregado y se detallan a continuación:

- Procedimiento de consolidación por varillado

Este procedimiento se utiliza con agregado que tenga un tamaño máximo nominal mayor que 1 ½”, consiste en introducir el agregado en el molde seleccionado y llenándolo en tres capas de igual altura; cada capa es compactada por medio de la aplicación de 25 golpes (igualmente espaciados sobre su superficie) con una varilla lisa de acero de 5/8” de diámetro y 24” de largo cuyos extremos están redondeados con punta semiesférica. La primera capa se debe nivelar con los dedos su superficie, a continuación se varilla la capa de agregados con 25 golpes uniformemente distribuidos sobre su superficie; al varillar la primera capa no se debe permitir que la varilla toque el fondo del recipiente. A continuación se llena el recipiente a dos tercios de su altura, se vuelve a nivelar y varillar (para la segunda y tercera capa se procura aplicar golpes vigorosos pero de forma tal que la varilla no penetre la capa anterior), finalmente se llena el recipiente hasta rebosarlo y se varilla de la forma descrita anteriormente, Se nivela la superficie del agregado con los dedos o regla enrasadora de tal forma que ninguna partícula del agregado grueso sobresalga, balancee los huecos por debajo del borde del recipiente. A continuación se determinan los pesos del molde con el agregado y del peso del molde solo (con una precisión de al menos 0.1 lb o 0.05 kg) y se procede a realizar la serie de cálculos (con las unidades consistentes) como se muestra a continuación:

$$PVV = (G_v - T) / V \text{ ó } (G_v - T) \times (1/V) = (G_v - T) \times F \quad \text{Ec. 3-6}$$

Donde:

PVV = Peso volumétrico varillado en lb/pie<sup>3</sup> o kg/m<sup>3</sup>.

$G_v$  = Peso del agregado varillado más molde en lb o kg

T = Peso del molde en lb o kg

V = Volumen del molde en pie<sup>3</sup> o m<sup>3</sup>

Nota: El valor de peso volumétrico varillado debe reportarse con una precisión de 1 lb/pie<sup>3</sup> o 10 kg/m<sup>3</sup> y deben hacerse al menos 2 determinaciones y verificar que la desviación estándar (1s) con un solo operador no exceda de 0.88 lb/pie<sup>3</sup> (14 kg/m<sup>3</sup>).

Si desea conocer el valor de densidad total pero en estado saturado superficialmente seco (SSS) y se dispone del valor de absorción respectivo obtenido por medio de los procedimientos descritos en ASTM C 127 o C 128, puede determinarse la densidad total en condición SSS con la ecuación 3-7:

$$PVV_{SSS}=PVV \times (1+A/100) \quad \text{Ec. 3-7}$$

Donde:

$PV_{SSS}$  = Peso volumétrico varillado en condición saturado superficialmente seco (SSS) en lb/pie<sup>3</sup> o kg/m<sup>3</sup>.

A = Absorción, en %

Para determinar el contenido de vacíos en estado compacto se requiere el valor de gravedad específica obtenida de acuerdo a los procedimientos descritos en ASTM C-127 o C 128 según corresponda y se determina por medio de la ecuación 3-8.

$$\% \text{ de vacíos} = 100 \times (S\gamma_{\text{agua}} - PVV) / (S\gamma_{\text{agua}}) \quad \text{Ec. 3-8}$$

Donde:

% de vacíos = Porcentaje de vacíos, en %.

S = Gravedad específica del agregado (adimensional)

$\gamma_{\text{agua}}$  = Densidad del agua, 62.3 lb/pie<sup>3</sup> o 998 kg/m<sup>3</sup>

- Procedimiento de consolidación por sacudido

Este procedimiento se utiliza para agregado que tenga un tamaño máximo nominal mayor que 1 1/2" y menor o igual a 5", consiste en colocar el molde sobre una base firme como un piso de concreto, se llena el recipiente con tres capas aproximadamente iguales de agregado. Cada capa es compactada por levantar alternadamente los lados opuestos del molde una altura de alrededor de 2" dejando caer 50 veces el recipiente; 25 veces cada lado. Se nivela la superficie del agregado con los dedos o regla enrasadora de tal forma que ninguna partícula del agregado grueso sobresalga, balancee los huecos por debajo del borde del recipiente. A continuación se determinan los pesos del molde con el agregado y del peso del molde solo (con una precisión de al menos 0.1 lb o 0.05 kg) y se procede a realizar la serie de cálculos (con las unidades consistentes) como se muestra a continuación:

$$PV_s = (G-T)/V \text{ ó } (G-T) \times (1/V) = (G-T) \times F \quad \text{Ec. 3-9}$$

Donde:

PV<sub>s</sub> = Peso volumétrico por sacudido en lb/pie<sup>3</sup> o kg/m<sup>3</sup>.  
G = Peso del agregado sacudido más molde en lb o kg  
T = Peso del molde en lb o kg  
V = Volumen del molde en pie<sup>3</sup> o m<sup>3</sup>

Nota: El valor de peso volumétrico varillado debe reportarse con una precisión de 1 lb/pie<sup>3</sup> o 10 kg/m<sup>3</sup> y deben hacerse al menos 2 determinaciones y verificar que la desviación estándar (1s) con un solo operador no exceda de 0.88 lb/pie<sup>3</sup> (14 kg/m<sup>3</sup>).

Si desea conocer el valor de densidad total pero en estado saturado superficialmente seco (SSS) y se dispone del valor de absorción respectivo obtenido por medio de los procedimientos descritos en ASTM C 127 o C 128, puede determinarse la densidad total en condición SSS con la ecuación 3-10:

$$PV_{s(SSS)} = PV_s \times (1 + A/100) \quad \text{Ec. 3-10}$$

Donde:

PV<sub>s(SSS)</sub> = Peso volumétrico por sacudido en condición saturado superficialmente seco (SSS) en lb/pie<sup>3</sup> o kg/m<sup>3</sup>.  
A = Absorción, en %

Para determinar el contenido de vacíos en estado compacto se requiere el valor de gravedad específica obtenida de acuerdo a los procedimientos descritos en ASTM C-127 o C 128 según corresponda y se determina por medio de la ecuación 3-11.

$$\% \text{ de vacíos} = 100 \times (S\gamma_{\text{agua}} - PVV) / (S\gamma_{\text{agua}}) \quad \text{Ec. 3-11}$$

### **3.4 MATERIAL Y EQUIPO:**

#### **Material:**

- Agregado grueso y/o fino en cantidad suficiente que exceda la capacidad del molde (de 125% a 200% el volumen del molde).
- Agua potable
- Franela o papel toalla

#### **Equipo:**

- Balanza o báscula con una precisión de 0.1% de la carga de ensayo y para cualquier punto dentro del rango de uso con una precisión de al menos 0.1 lb (0.05 kg). El rango de uso deberá ser considerado para poder extenderlo a valores de 120 lb/pie<sup>3</sup> (1980 kg/m<sup>3</sup>).
- Varilla compactadora: Una varilla lisa redonda de acero de 5/8" de diámetro y 24" de largo, teniendo un extremo o ambos redondeados a una punta semiesférica de 5/8" de diámetro.
- Recipiente volumétrico (molde)
- Pala o cucharón de tamaño conveniente para llenar el molde
- Termómetro: con una precisión de al menos 0.1 °C.
- Placa de vidrio preferiblemente con un espesor de al menos 1/4" (6 mm) y con 1" (25 mm) más largo que el diámetro del molde a ser calibrado. Un suministro de agua bombeada o grasa para chasis puede colocarse en el borde del depósito para prevenir derrames o pérdidas.

### **3.5 PROCEDIMIENTO.**

#### **3.5.1 Determinación de la capacidad del molde a utilizar**

En función del tamaño máximo nominal y los valores de la tabla 3-1, se determina el volumen mínimo del molde a utilizar.

#### **3.5.2 Preparación de la muestra de agregado a utilizar**

El tamaño de la muestra deberá ser aproximadamente de 125 a 200% de la cantidad requerida para llenar el molde que se utilizará y deberá manejarse de tal forma que se evite la segregación. A continuación secar la muestra hasta masa constante, preferiblemente en un horno a 230.9 °F (110±5 °C).

#### **3.5.3 Calibración del molde**

- a) Determinar el peso del molde seco solo, a la precisión descrita en 3-4.
- b) Cada molde que se utilice deberá ser calibrado con agua a temperatura ambiente, llenando el molde y nivelándolo con una pieza o placa de vidrio.



- c) Secar rápidamente el exterior del molde con un papel toalla o una tela absorbente y determinar el peso del molde más agua a la precisión descrita en 3-4 y tomar la temperatura al agua.
- d) Realizar una al menos una segunda determinación (pasos b) y c)).

Nota: Se sugiere realizar al menos dos determinaciones de volumen como mínimo, pero debe tenerse en cuenta que a mayor cantidad de determinaciones, más confiable es el dato obtenido.

- e) Determinar el peso volumétrico promedio del agua, por medio de las determinaciones de temperatura realizadas y los datos de la tabla 3-3 (interpolando si es necesario).
- f) Determinar el volumen promedio del molde con el auxilio de la tabla 3-2.

### **3.5.4 Determinación de pesos volumétricos (suelto, varillado o sacudido)**

#### **3.5.4.1 Determinación de peso volumétrico suelto PVS**

- a) Determinar el peso del molde solo a la precisión descrita en 3-4.



Fig. lectura de los pesos de los moldes

- b) Colocar el molde en un sitio nivelado como un piso de concreto.
- c) Introducir el agregado en el molde seleccionado, en su estado suelto, llenándolo por medio de una cuchara o pala a una altura que no exceda de 2” por encima del borde superior del molde hasta que el material rebose éste; teniendo el cuidado de evitar en la medida de lo posible la segregación.



Fig. 2 colocación de los agregados en sus respectivos moldes

- d) A continuación se nivela la superficie con una regla enrasadora (en agregado fino o grueso) teniendo el cuidado de no presionar mucho para no compactar ligeramente su estado suelto o nivelando directamente con los dedos (en agregado grueso) de forma tal que ninguna pieza se proyecte o balancee los huecos en la superficie por debajo del borde del recipiente.
- e) Determinar el peso del molde con el agregado a la precisión descrita en 3-4.
- f) Realizar al menos dos determinaciones de PVS.
- g) Determinar el peso volumétrico suelto PVS promedio por medio de la ecuación 3-3 y su respectiva desviación estándar(s) y verificar que la desviación estándar (1s) con un solo operador no exceda de  $0.88 \text{ lb/pe}^3$  ( $14 \text{ kg/m}^3$ ).
- h) Si se conocen el valor de absorción y/o el de gravedad específica del agregado se procede a calcular el peso volumétrico en condición suelta y SSS (Pbs.) por medio de la Ec. 3-4 y el porcentaje de vacíos por medio de la ecuación 3-5.

#### 3.5.4.2 Determinación de peso volumétrico varillado PVV (para tamaño máximo nominal menor o igual a $1 \frac{1}{2}$ "

- a) Determinar el peso del molde solo a la precisión descrita en 3-4.
- b) Colocar el molde en un sitio nivelado como un piso de concreto
- c) Introducir el agregado en el molde seleccionado y llenarlo hasta un tercio de su altura.
- d) Nivelar con los dedos su superficie, a continuación se varilla la capa de agregados con 25 golpes uniformemente distribuidos sobre su superficie; al varillar la primera capa no se debe permitir que la varilla toque el fondo del recipiente con una varilla lisa de acero de  $5/8$ " de diámetro y 24" de largo cuyos extremos están redondeados con punta semiesférica.
- e) A continuación se llena el recipiente a dos tercios de su altura, se vuelve a nivelar y aplicar 25 golpes con la varilla de compactación, uniformemente distribuida y vigorosa (pero de forma tal que la varilla no penetre la capa anterior).



Fig. 3. varillado a n/3 de la capacidad de los moldes.

- f) Finalmente se llena el recipiente hasta rebosarlo y se varilla con 25 golpes uniformemente distribuidos.
- g) Se nivela la superficie del agregado con los dedos o regla enrasadora de tal forma que ninguna partícula del agregado grueso sobresalga, balancee los huecos por debajo del borde del recipiente.



Fig. 4 nivelado de la superficie

- h) Determinar el peso del molde con el agregado a la precisión descrita en 3-4.
- i) Realizar al menos 2 determinaciones de PVV.
- j) Determinar el peso volumétrico varillado PVV promedio por medio de la ecuación 3-6 y su respectiva desviación estándar(s) y verificar que la desviación estándar (1s) con un solo operador no exceda de 0.88 lb/pie<sup>3</sup> (14 kg/m<sup>3</sup>).
- k) Si se conocen el valor de absorción y/o el de gravedad específica del agregado se procede a calcular el peso volumétrico en condición varillada y SSS (PVV<sub>sss</sub>) por medio de la Ec. 3-7 y el porcentaje de vacíos por medio de la ecuación 3-8.



Fig 5. lectura del peso del molde mas agregado

**3.5.4.3 Determinación de peso volumétrico sacudido PVS (para tamaño máximo nominal mayor a 1 ½" y menor o igual a 5").**

- a) Determinar el peso del molde solo a la precisión descrita en 3-4.
- b) Colocar el molde en un sitio nivelado como un piso de concreto.
- c) Se llena el recipiente con tres capas aproximadamente iguales de agregado. Cada capa es compactada por levantar alternadamente los lados opuestos del molde una altura de alrededor de 2" dejando caer 50 veces el recipiente; 25 veces cada lado.
- d) Se nivela la superficie del agregado con los dedos o regla enrasadora de tal forma que ninguna partícula del agregado grueso sobresalga, balancee los huecos por debajo del borde del recipiente.
- e) Determinar los pesos del molde con el agregado con la precisión descrita en 3-4.
- f) Realizar al menos 2 determinaciones de PVs.
- g) Determinar el peso volumétrico sacudido PVs promedio por medio de la ecuación 3-9 y su respectiva desviación estándar(s) y verificar que la desviación estándar (1s) con un solo operador no exceda de 0.88 lb/pie<sup>3</sup> (14 kg/m<sup>3</sup>).
- h) Si se conocen el valor de absorción y/o el de gravedad específica del agregado se procede a calcular el peso volumétrico por sacudido y SSS (PVs(sss)) por medio de la Ec. 3-10 y el porcentaje de vacíos por medio de la ecuación 3-11.

**3.6 EJEMPLO ILUSTRATIVO:**

Se desea determinar el peso volumétrico suelto y varillado de un agregado grueso con un tamaño máximo nominal de 1". Asimismo el valor de Gravedad específica es de 2.61 y su absorción es de 1.3%. Un registro anterior proporciona que el material tiene un valor de PVV alrededor de 1550 kg/m<sup>3</sup>.

### 3.6.1 Determinación de la capacidad del molde a utilizar

Con el uso de la tabla 3-1, se observa que la capacidad mínima del molde a utilizar es de 1/3 de pie<sup>3</sup> o 9.3 litros (0.0093 m<sup>3</sup>).

Tamaño máximo nominal del agregado		Capacidad del depósito	
pulgadas	mm	pie <sup>3</sup>	L ( m <sup>3</sup> )
½	12.5	1/10	2.8 (0.0028)
<b>1</b>	<b>25.0</b>	<b>1/3</b>	<b>9.3 (0.0093)</b>
1 ½	37.5	½	14 (0.014)
3	75	1	28 (0.028)
4	100	2 ½	70 (0.070)
5	125	3 ½	100 (0.100)

**Tabla 3-1: Capacidad del depósito medidor ( molde) en función del tamaño máximo nominal del agregado.**

### 3.6.2 Preparación de la muestra a utilizar

Obtener de 125% a 200% la capacidad del molde, en este caso sirve de referencia el valor de PVV de 1550 kg/m<sup>3</sup> para lo anterior se hace uso de la Ec. 3-6:

$$PVV=(G_v-T)/V \text{ ó } (G_v-T)\times(1/V) = (G_v-T)\times F \quad \text{Ec. 3-6}$$

Despejando (G<sub>v</sub>-T) que representa la masa de agregado, se tiene la masa que ocupa el molde es aproximadamente de

$$(G_v-T)=PVV\times V=1550\text{kg/m}^3\times 0.0093\text{m}^3=14.415 \text{ kg}$$

La muestra de agregado a secar debe tener entre 125% a 200% la capacidad del molde; es decir:

$$\text{Masa mínima : } 1.25\times 14.415 = \mathbf{18.02 \text{ kg}}$$

$$\text{Masa máxima : } 2.00\times 14.415 = \mathbf{28.83 \text{ kg}}$$

### 3.6.3 Calibración del molde

Se realizan 3 determinaciones según el procedimiento descrito en 3.5.3 y se tienen los siguientes datos:

Descripción	Unidad	1	2	3
Identificación de molde	***	1	1	1
Volumen nominal	m <sup>3</sup>	0.0093	0.0093	0.0093
Peso del molde	kg	4.992	4.992	4.992
Peso del molde+agua	kg	14.279	14.305	14.296
Peso del agua	kg	9.287	9.313	9.304
Temperatura	°C	26.3	26.1	26.0

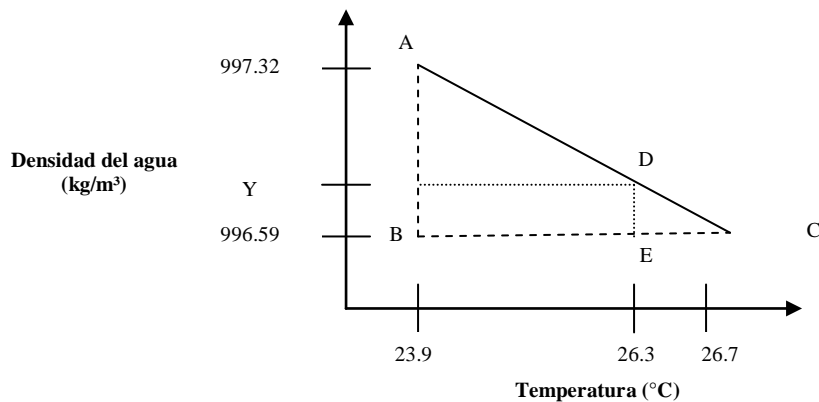
A continuación se procede a determinar la densidad del agua en función de la temperatura con el auxilio de la tabla 3-3, así se tiene:

Temperatura		Densidad	
°F	°C	lb/pie <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
60	15.6	62.366	999.01
65	18.3	62.336	998.54
70	21.1	62.301	997.97
73.4	23.0	62.274	997.54
75	23.9	62.261	997.32
80	26.7	62.216	996.59
90	29.4	62.166	995.83

**Tabla 3-3: Densidad del agua en función de la temperatura**

A manera de ejemplo se detalla el cálculo para la determinación No. 1:

Temperatura: 26.3°C, como este valor no está directamente en la tabla 3-3, debe interpolarse.



Realizando relación de triángulos se tiene que:

$$DE/CE=AB/BC$$

$$(Y-996.59)/(26.7-26.3)=(997.32-996.59)/(26.7-23.9)$$

$$Y=996.59+[(997.32-996.59)\times(26.7-26.3)]/(26.7-23.9)$$

$$Y=996.694286\approx\mathbf{996.69\text{ kg/m}^3}$$

De similar forma se tiene para las determinaciones No. 2 y No.3 sus respectivas densidades son:

$$\text{Determinación No. 2 a } 26.1^\circ\text{C} = 996.746429 \approx \mathbf{996.75\text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Determinación No. 3 a } 26.0^\circ\text{C} = 996.772500 \approx \mathbf{996.77\text{ kg/m}^3}$$

Con los datos anteriores se procede a calcular los respectivos volúmenes con el auxilio de la Ec. 3-2:

$$V = W / \gamma (^{\circ}\text{T})_{\text{agua}} \quad \text{Ec. 3-2}$$

Por tanto

$$\text{Determinación No. 1: } V=9.287/996.69=0.00931784\text{ m}^3$$

$$\text{Determinación No. 2: } V=9.313/996.75=0.00934337\text{ m}^3$$

$$\text{Determinación No. 3: } V=9.304/996.77=0.00933415\text{ m}^3$$

$$\text{Volumen promedio del molde} = (0.000931784+0.00934337+0.00933415)/3$$

$$\text{Volumen promedio del molde} = 0.00933179\approx\mathbf{0.00933\text{ m}^3}$$

### **3.6.4 Determinación de pesos volumétricos (suelto, varillado o sacudido)**

#### **3.6.4.1 Determinación de peso volumétrico suelto PVS**

Se realizan 3 determinaciones según el procedimiento descrito en 3.5.4.1 y se tienen los siguientes datos:

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Identificación de molde	***	1	1	1
Peso del molde, T	kg	4.992	4.992	4.992
Peso del molde+agregado, Gs	kg	17.886	17.811	17.970
Peso agregado	kg	12.894	12.819	12.978
Volumen promedio del molde, V	m <sup>3</sup>	0.00933	0.00933	0.00933

Se procede a determinar los pesos volumétricos sueltos por medio de la Ec. 3-3 y se tiene:

$$PVS=(G_s-T)/V$$

$$\text{Determinación No. 1: } PVS=(17.886-4.992)/0.00933=1381.993537 \approx \mathbf{1382\text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Determinación No. 2: } PVS=(17.811-4.992)/0.00933=1373.954980 \approx \mathbf{1374\text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Determinación No. 3: } PVS=(17.886-4.992)/0.00933=1390.996780 \approx \mathbf{1391\text{ kg/m}^3}$$

A continuación se procede a calcular el peso volumétrico suelto promedio

$$PVS = (1382+1374+1391)/3=1382.333\approx\mathbf{1382\text{ kg/m}^3}$$

Determinando su desviación estándar  $s$  para este caso se tiene:

$$s=(\Sigma(Xi-X)^2/(n-1))^{1/2}$$
$$s=[\{(1382-1382)^2+(1374-1382)^2+(1391-1382)^2\}/(3-1)]^{1/2}$$
$$s=8.5\text{ kg/m}^3$$

Verificando si cumple la tolerancia se tiene que

$$s=8.5 \leq 14\text{ kg/m}^3$$

Por tanto  $PVS=1382\text{ kg/m}^3$

Si se desea obtener el peso volumétrico suelto en condición SSS, se utiliza la ecuación 3-4

$$PVS_{SSS}=PVS\times(1+A/100) \quad \text{Ec. 3-4}$$

$$\text{Por tanto } PVS_{SSS}=1382\times(1+1.3/100)=1399.966\approx\mathbf{1400\text{ kg/m}^3}$$

Si se desea determinar el porcentaje de vacíos para esta condición, se tiene que utilizar la Ec 3-5, así:

$$\% \text{ de vacíos} = 100\times(S\gamma_{\text{agua}} - PVS)/(S\gamma_{\text{agua}}) \quad \text{Ec. 3-5}$$

Donde:

% de vacíos = Porcentaje de vacíos, en %.

$S$  = Gravedad específica del agregado (adimensional)

$\gamma_{\text{agua}}$  = Densidad del agua, 62.3 lb/pe<sup>3</sup> o 998 kg/m<sup>3</sup>

$$\text{Por tanto: } \% \text{ de vacíos} = 100\times(2.61\times998-1382)/(2.61\times998)=46.9436958\approx\mathbf{46.9\%}$$

#### 3.6.4.2 Determinación de peso volumétrico varillado PVV

Como el tamaño máximo nominal del agregado es menor que 1 ½", se procedió a seguir es determinar su peso volumétrico varillado. Se realizan 3 determinaciones según el procedimiento descrito en 3.5.4.2 y se tienen los siguientes datos:



Descripción	Unidad	1	2	3
Identificación de molde	***	1	1	1
Peso del molde, T	kg	4.992	4.992	4.992
Peso del molde+agregado, Gv	kg	18.912	19.006	19.118
Peso agregado	kg	13.920	14.014	14.126
Volumen promedio del molde, V	m <sup>3</sup>	0.00933	0.00933	0.00933

Se procede a determinar los pesos volumétricos sueltos por medio de la Ec. 3-6 y se tiene:

$$PVV=(G_v-T)/V$$

$$\text{Determinación No. 1: } PVV=(18.912-4.992)/0.00933=1491.96141 \approx \mathbf{1492 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Determinación No. 2: } PVV=(19.006-4.992)/0.00933=1502.03644 \approx \mathbf{1502 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Determinación No. 3: } PVV=(19.118-4.992)/0.00933=1514.04073 \approx \mathbf{1514 \text{ kg/m}^3}$$

A continuación se procede a calcular el peso volumétrico suelto promedio

$$PVV = (1492+1502+1514)/3=1502.667 \approx \mathbf{1503 \text{ kg/m}^3}$$

Determinando su desviación estándar *s* para este caso se tiene:

$$s=(\Sigma(X_i-X)^2/(n-1))^{1/2}$$

$$s=[\{(1492-1503)^2+(1502-1503)^2+(1514-1503)^2\}/(3-1)]^{1/2}$$

$$s=11.0 \text{ kg/m}^3$$

Verificando si cumple la tolerancia se tiene que

$$s=11.0 \leq 14 \text{ kg/m}^3$$

Por tanto **PVV=1503 kg/m<sup>3</sup>**

Si se desea obtener el peso volumétrico varillado en condición SSS, se utiliza la ecuación 3-7

$$PVV_{SSS}=PVV \times (1+A/100) \quad \text{Ec. 3-7}$$

$$\text{Por tanto } PVV_{SSS}=1503 \times (1+1.3/100)=1522.539 \approx \mathbf{1523 \text{ kg/m}^3}$$

Si se desea determinar el porcentaje de vacíos para esta condición, se tiene que utilizar la Ec 3-8, así:

$$\% \text{ de vacíos} = 100 \times (S\gamma_{\text{agua}} - PVV)/(S\gamma_{\text{agua}}) \quad \text{Ec. 3-8}$$

Donde:

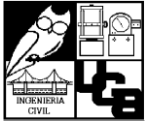
% de vacíos = Porcentaje de vacíos, en %.

S = Gravedad específica del agregado (adimensional)

$\gamma_{\text{agua}}$  = Densidad del agua, 62.3 lb/pie<sup>3</sup> o 998 kg/m<sup>3</sup>

$$\text{Por tanto: } \% \text{ de vacíos} = 100 \times (2.61 \times 998 - 1503)/(2.61 \times 998) = 42.2983899 \approx \mathbf{42.3\%}$$

**3.7 FORMATO DE REPORTE DE ENSAYO:**



**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR**  
 Departamento de Mecánica Estructural, Av. Ladrón de Gue, (Q) 18/Alameda Sur, San Salvador, E. Salvador,  
 América Central  
 Tel: +593 2210666 Fax: +593 2210666 Email: pdrator@guacelvs

**La entintado de volumen por medio de un colorante de concentración pesada de agua, según ASIMC 2997**

**Fecha de determinación** \_\_\_\_\_ **Revisión del termómetro** \_\_\_\_\_

**Responsable** \_\_\_\_\_

Descripción	unidad	1	2	3
Identificación de molde	***			
Volumen nominal	m <sup>3</sup>			
Peso Molde	kg			
Peso Molde + agua	kg			
Peso agua	kg			
Temperatura	°C			
Densidad de agua	kg/m <sup>3</sup>			
Volumen de molde	m <sup>3</sup>			
Volumen por medio	m <sup>3</sup>			
Densidad estándar	m <sup>3</sup>			

Temperatura		Densidad	
F	C	lbpe'	kg/m <sup>3</sup>
60	15.6	0.230	997.0
65	18.3	0.230	998.34
70	21.1	0.230	999.71
75.4	25	0.224	999.34
80	26.7	0.221	999.32
85	29.4	0.216	998.59
90	32.2	0.210	997.83

**La densidad de agua en función de la temperatura**

**Observaciones** \_\_\_\_\_

---



---



---



---



---



**LEANTIRADONCE PESO UNIFORMES LINDO VARIADOS SOLUCIONADO EN TRES PUNTOS, SEGUN TABLA 2.3.1**

**Proyecto** \_\_\_\_\_

**Descripción de la estructura**

**Material** \_\_\_\_\_ **Unidad** \_\_\_\_\_ **Refracción** \_\_\_\_\_

**Definición de peso dinámico de PS**

Descripción	unidad	1	2	3
Identificación de nodo	***			
Peso Muerto	kg			
Peso Muerto + agregado	kg			
Peso agregado	kg			
Volumen por nodo de nodo	m <sup>3</sup>			
Peso dinámico de nodo	kg/m <sup>3</sup>			
Peso dinámico de nodo por nodo	kg/m <sup>3</sup>			
Desviación estándar	kg/m <sup>3</sup>			

**Definición de peso dinámico de viga PW\***

Descripción	unidad	1	2	3
Identificación de nodo	***			
Peso Muerto	kg			
Peso Muerto + agregado	kg			
Peso agregado	kg			
Volumen por nodo de nodo	m <sup>3</sup>			
Peso dinámico de viga	kg/m <sup>3</sup>			
Peso dinámico de viga por nodo	kg/m <sup>3</sup>			
Desviación estándar	kg/m <sup>3</sup>			

\* Para la tabla anterior unirse a la norma de la tabla 1.2

**Definición de peso dinámico de columna PC\*\***

Descripción	unidad	1	2	3
Identificación de nodo	***			
Peso Muerto	kg			
Peso Muerto + agregado	kg			
Peso agregado	kg			
Volumen por nodo de nodo	m <sup>3</sup>			
Peso dinámico de columna	kg/m <sup>3</sup>			
Peso dinámico de columna por nodo	kg/m <sup>3</sup>			
Desviación estándar	kg/m <sup>3</sup>			

\*\* Para la tabla anterior unirse a la norma de la tabla 1.2 con la norma de la tabla 5

**RESPUESTA**

### **3.8 REFERENCIAS:**

ASTM C 29/C 29M-97, Standard Test Method for Bulk density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate, Vol 04.02 American Standards of Testing of Materials, Edition 2003.

*JOSEPH J. WADDELL, JOSEPH A. DOBROWSKI, Manual de la construcción con concreto I,* Mc Graw Hill, 3a edición, 1997.