

6. DENSIDAD BULK (MASA UNITARIA) Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE LOS AGREGADOS

Realizado por: _____

El ensayo de densidad *bulk* permite determinar la masa unitaria y porcentaje de vacíos presente en una muestra de agregado, sea fino o grueso, en condición compactada como representación del volumen total del agregado. La condición compactada se logra mediante el varillado o apisonado del agregado y es aplicable para agregados con tamaño máximo nominal menor o igual a 1 ½". Se realiza siguiendo el procedimiento descrito en el estándar internacional ASTM C29 [17] o en la norma nacional NTC 92 [18]. La presente guía resume el procedimiento y los aspectos generales del ensayo de densidad *bulk* (masa unitaria) y porcentaje de vacíos de los agregados; por lo tanto, se recomienda consultar la normativa de referencia a quien ejecute el ensayo.

FUNDAMENTOS BÁSICOS

- Densidad *bulk*: es la relación entre la masa de un agregado, fino o grueso, y el volumen unitario, compuesto por el volumen de las partículas de agregado y el volumen de los vacíos entre ellas, que ocupa dicha masa. En algunos casos, la densidad *bulk* también es referida como “peso unitario”. Sin embargo, su uso puede causar confusión debido a que el peso corresponde a una fuerza y no a una masa como tal. Por lo anterior, es preferible utilizar el término masa unitaria o densidad *bulk*.
- Porcentaje de vacíos: es el espacio existente entre las partículas de una masa de agregado. Los vacíos correspondientes a los poros permeables o impermeables de las partículas del agregado no se determinan mediante este ensayo.
- Tamaño máximo del agregado: es la abertura de tamiz más pequeña por la que pasa la cantidad total del agregado.

OBJETO DEL ENSAYO

Determinar la densidad *bulk* y el porcentaje de vacíos una muestra de agregado fino y de agregado grueso empleando el método de varillado o compactación.

EQUIPOS E INSTRUMENTOS

- Agitador – cucharón o espátula metálica de tamaño adecuado que permita manipular la muestra.
- Balanza – balanza o báscula calibrada y legible. La aproximación de lectura y la exactitud deben ser 0,1 g o 0,1 % de la masa de ensayo.
- Fuente de calor – horno ventilado de temperatura controlable ($110 \pm 5^\circ \text{C}$). Cuando no se precise el control de la temperatura se permite el secado

al aire de la muestra mediante exposición directa a la luz solar bajo condiciones ambientales favorables.

- Guantes – se recomienda el uso guantes de protección térmica en caso de utilizar horno.
- Recipiente – recipiente metálico (aluminio o latón) resistente al calor que sea capaz de contener la muestra sin riesgo de derramamiento.
- Recipiente de medida – recipiente metálico con volumen definido mediante calibración y rigidez suficiente para la realización del ensayo.
- Varilla compactadora – varilla lisa de acero de 5/8" de diámetro, con una longitud aproximada de 600 mm y al menos uno de sus extremos con forma semiesférica.

CONOCIMIENTOS PREVIOS

¿En qué se diferencia la densidad *bulk* o masa unitaria de un agregado, con la densidad específica (absoluta)?

| |
|---|
| <hr/> |
|---|

¿Cómo la cantidad de vacíos presentes entre las partículas de agregado afectan la densidad *bulk* del agregado?

| |
|---|
| <hr/> |
|---|

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

La práctica de laboratorio correspondiente al ensayo de densidad *bulk* se realiza en 3 etapas que corresponden al muestreo del agregado, preparación de la muestra y procedimiento en laboratorio.

Paso 1. Siguiendo el procedimiento descrito en el ensayo de reducción de muestras de agregados se obtiene una muestra de agregado de 125 a 200% la cantidad requerida para llenar el recipiente de medida. Nota: El recipiente de medida debe ser seleccionado con base en el tamaño máximo nominal del agregado (tabla 8).

| | |
|------------------------------------|-------------------|
| Tamaño máximo del agregado | mm |
| Capacidad del recipiente de medida | pies ³ |

Tabla 8. Capacidad del recipiente de medida para el ensayo.

| Tamaño máximo nominal del agregado | | Capacidad del recipiente de medida | |
|------------------------------------|----------|------------------------------------|-------------------|
| mm | pulgadas | m ³ (litros) | pies ³ |
| 12,5 | 1/2 | 0,0028 (2,8) | 1/10 |
| 25,0 | 1 | 0,0093 (9,3) | 1/3 |
| 37,5 | 1 ½ | 0,0140 (14) | ½ |
| 75 | 3 | 0,0280 (28) | 1 |
| 100 | 4 | 0,070 (70) | 2 ½ |
| 125 | 5 | 0,100 (100) | 3 ½ |

Fuente: tomado de NTC 92.

Paso 2. Se introduce en el horno la muestra de agregado el tiempo necesario hasta obtener masa constante. Se recomienda que el tiempo de secado en horno no sea menor a 12 h. Si se utiliza el secado por contacto directo de la luz solar el tiempo mínimo recomendado es de 16 h.

Paso 3. El varillado consta de compactar el agregado dentro del recipiente de medida (Fig. 13). El proceso de compactación se lleva a cabo vertiendo el agregado en el recipiente de medida en tres capas aproximadamente iguales (cada capa de 1/3 del volumen del recipiente), hasta colmarlo.



Fig. 13. Recipientes de medida para ensayo de densidad *bulk*.

Paso 4. Cada capa se nivela con los dedos y se compacta aplicando 25 golpes con la varilla compactadora. Nota: Al compactar la primera capa, se debe evitar que la varilla golpee el fondo del recipiente. Al compactar las capas superiores, se aplica la fuerza necesaria para que la varilla solamente atraviese la capa respectiva.

Paso 5. Una vez compactada la última capa, se enrasa la superficie del agregado con una regla o utilizando la varilla de compactación.

Paso 6. Se determina la masa del recipiente de medida lleno con el agregado compactado (W_{r+a}), y vacío (W_r) y se registran los valores.

| | Ag. fino | Ag. grueso |
|--|----------|------------|
| Masa del recipiente (W_r) | g | g |
| Masa del recipiente + muestra compactada (W_{r+a}) | g | g |

Paso 7. Repita 2 veces más el procedimiento a partir del paso 3.

| | Ag. fino | Ag. grueso |
|-----------------------|----------|------------|
| 2da medida, W_{r+a} | g | g |
| 3ra medida, W_{r+a} | g | g |

CÁLCULOS Y RESULTADOS

Paso 8. Se calcula la masa compacta del agregado empleando la ecuación 6.1.

$$W_a = W_{a+r} - W_r \quad 6.1$$

| | Ag. fino | Ag. grueso |
|------------------------------------|----------|------------|
| Masa de la muestra compacta, W_a | g | g |

Paso 9. Se calcula la densidad *bulk* empleando la ecuación 6.2.

$$DB = \frac{W_a}{V} \quad 6.2$$

Donde:

DB = Densidad *bulk* del agregado, kg/m³.

W_a = Masa de la muestra compacta, g.

V = Volumen del recipiente de medida, m³.

| | Ag. fino | Ag. grueso |
|---|-------------------|-------------------|
| Densidad <i>bulk</i> del agregado, (DB) | kg/m ³ | kg/m ³ |

Paso 10. Con la gravedad específica (densidad relativa) seca del agregado obtenida en el ensayo anterior se calcula el porcentaje de vacíos empleando la ecuación 6.3.

$$\% \text{ vacíos} = \frac{(GE_s \times \rho_w) - DB}{(GE_s \times \rho_w)} \times 100 \quad 6.3$$

Donde:

GE_s = Gravedad específica (densidad relativa) seca del agregado.

BD = Densidad *bulk* del agregado, kg/m³.

ρ_w = Densidad del agua, kg/m³.

| | Ag. fino | Ag. grueso |
|--|----------|------------|
| Porcentaje de vacíos, (% <i>vacíos</i>) | % | % |

RESULTADOS ESPERADOS

La densidad *bulk* varía dependiendo del grado de compactación al cual se someten los agregados durante el ensayo. Para agregados naturales de masa normal su densidad oscila entre 1.200 y 1.750 kg/m³ [6].

El porcentaje de vacíos depende del tipo de agregado. Para agregado grueso varía entre 30% a 45%, y para agregado fino entre 40% al 50%.

EJERCICIOS

Una bandeja de 315 g se utilizó para medir una cantidad de agregado. La masa registrada del agregado fue de 14,2 kg, y el volumen que ocupó fue de 9 275 cm³. Determine la densidad *bulk* del agregado en kg/m³.

La densidad *bulk* se define como la relación entre la masa de un agregado y el volumen que ocupa dicha masa. Conociendo que el volumen ocupado es igual al volumen de las partículas de agregado (V_a) más el volumen de los vacíos entre ellas (V_v), a partir de la ecuación 6.2 ¿cómo se expresaría la densidad *bulk*?

DENSIDAD *BULK* DE LOS AGREGADOS – AGREGADO FINO

Reporte de resultados

Información general

| | |
|----------------------|-----------------------|
| Realizado por: | Fecha: |
| Laboratorio: | |
| Temperatura (°C): | Humedad relativa (%): |
| Norma de referencia: | |

Detalles del ensayo

| | |
|---|-----------------------|
| Temperatura de secado (°C): | Tiempo de secado (h): |
| Método de secado: () Horno ventilado () Al aire libre | |

Datos y cálculos

| | |
|---------------------|--------------------------------|
| Tamaño máximo (mm): | Masa total de la muestra (kg): |
|---------------------|--------------------------------|

| Número de muestra | 1 | 2 | 3 |
|--|---|---|---|
| Masa del recipiente (W_r) | | | |
| Volumen del recipiente (V_r) | | | |
| Masa del recipiente + muestra compacta (W_{r+a}) | | | |
| Masa de la muestra compacta (W_a) | | | |

| | | | |
|---|--|--|--|
| Densidad <i>bulk</i> (BD) | | | |
| Densidad <i>bulk</i> promedio (BD_{prom}) | | | |
| Porcentaje de vacíos (% <i>vacíos</i>) | | | |

Nota: unidades en kilogramos (kg) y metros cúbicos (m³).

Cálculos y ecuaciones

$$W_a = W_{a+r} - W_r$$

$$DB = W_a / V$$

$$\% \text{ vacíos} = \frac{(GE_s \times \rho_w) - DB}{(GE_s \times \rho_w)} \times 100$$

DENSIDAD *BULK* DE LOS AGREGADOS – AGREGADO GRUESO

Reporte de resultados

Información general

| | |
|----------------------|-----------------------|
| Realizado por: | Fecha: |
| Laboratorio: | |
| Temperatura (°C): | Humedad relativa (%): |
| Norma de referencia: | |

Detalles del ensayo

| | |
|---|-----------------------|
| Temperatura de secado (°C): | Tiempo de secado (h): |
| Método de secado: () Horno ventilado () Al aire libre | |

Datos y cálculos

| | |
|---------------------|--------------------------------|
| Tamaño máximo (mm): | Masa total de la muestra (kg): |
|---------------------|--------------------------------|

| Número de muestra | 1 | 2 | 3 |
|--|---|---|---|
| Masa del recipiente (W_r) | | | |
| Volumen del recipiente (V_r) | | | |
| Masa del recipiente + muestra compacta (W_{r+a}) | | | |
| Masa de la muestra compacta (W_a) | | | |

| | | | |
|---|--|--|--|
| Densidad <i>bulk</i> (BD) | | | |
| Densidad <i>bulk</i> promedio (BD_{prom}) | | | |
| Porcentaje de vacíos (% <i>vacíos</i>) | | | |

Nota: unidades en kilogramos (kg) y metros cúbicos (m³).

Cálculos y ecuaciones

$$W_a = W_{a+r} - W_r$$

$$DB = W_a / V$$

$$\% \text{ vacíos} = \frac{(GE_s \times \rho_w) - DB}{(GE_s \times \rho_w)} \times 100$$