



DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD VOLUMÉTRICA (MASA UNITARIA) Y VACÍOS EN AGREGADOS

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

- Determinar la masa unitaria en agregados finos, gruesos o mezclados, en condición suelta o compactada y el cálculo del porcentaje de vacíos entre sus partículas.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Establecer la densidad volumétrica de los agregados para concreto, siguiendo el procedimiento establecido en la norma NTC 92.
- Calcular el porcentaje de vacíos del conjunto de partículas, en los agregados finos o gruesos para la condición suelta o compactada de cada uno.

INTRODUCCIÓN

La densidad volumétrica o masa unitaria de los agregados se define como la relación entre el peso y el volumen que ocupan, incluyendo sus vacíos, que normalmente se expresa como kg/m^3 o ton/m^3 . Esta se puede determinar a partir del estado suelto del material, el cual es clave para los cálculos de transporte, o en estado compactado, esencial para el diseño de mezclas de concreto (Geotexan, 2024).

El porcentaje de vacíos en los agregados pétreos es la relación entre el volumen de espacios intergranulares y el volumen total de una muestra de agregado, ya sea fino (arena) o grueso (grava), que es expresado en porcentaje. A sí mismo, es fundamental para el diseño de mezclas de concreto y asfalto, ya que influye directamente en la cantidad de pasta de cemento necesaria en una mezcla de concreto, o de asfalto requerida para una carpeta asfáltica (Serrano. M, 2020).

La determinación de la masa unitaria es un ensayo muy importante para la ingeniería civil, sirve como dato principal para establecer las proporciones de la mezcla, a partir de métodos de diseño como el del ACI 211, donde se requiere la masa unitaria compactada del agregado grueso. Además, para el área de la construcción este ensayo es importante ya que los agregados se suelen vender por peso, y su transporte se da en vehículos de carga pesada, con él se puede realizar el cálculo de las cantidades de material requeridas para una obra y así estimar el transporte necesario para traer el material (Waddell & Dobrowolski, 1997).

MATERIALES Y EQUIPOS

- (a) Molde
- (b) Horno
- (c) Balanza
- (d) Cucharón
- (e) Varilla de apisonamiento
- (f) Placa de vidrio
- (g) Cepillo o brocha

Figura 2. Materiales y equipos.



Nota. Registro fotográfico materiales y equipos de laboratorio.

Fuente. Rivera (2026).

PROCEDIMIENTO

- Primero se debe realizar un muestro del material, el cual debe ser equivalente a un 125% a 200% del volumen del molde, luego se lleva la muestra al horno a una temperatura constante de 110 ± 5 °C, hasta que alcance una masa constante.

Condición suelta:

Nota: El procedimiento descrito a continuación es el método C de la norma NTC 77 o también denominado paleo, y es apto para agregados finos o gruesos, según la capacidad de molde requerida en la norma, en función del tamaño máximo nominal del agregado (TMN).

- Con la muestra en condición seca, se comienza a llenar el molde con ayuda de una pala o cucharón hasta que el material rebose el volumen del molde. La altura de caída del material debe ser controlada y no exceder los 50 mm desde la parte superior del molde.
- Para el caso de agregados finos utilizando una regleta o con ayuda de la varilla de compactación se nivela la superficie del agregado en el molde. Para agregados con tamaños de partículas mayores, se debe realizar una nivelación promedio con la mano, con el fin de realizar una nivelación promedio, de tal forma que las partículas sobresalientes compensen aproximadamente los vacíos que quedan en la superficie del molde.
- Por último, con una brocha o cepillo se debe limpiar el material excedente en el exterior del molde, luego se lleva a la balanza correspondiente para registrar su peso.

Nota: Este procedimiento se puede repetir al menos 3 veces, con el fin de realizar un promedio y obtener mejores resultados.

Condición compactada:

Nota: El procedimiento descrito a continuación corresponde el método A de la norma NTC 77 o también denominado apisonamiento, y es apto para agregados finos o gruesos con un TMN igual o menor a 37,5 mm, y se debe revisar la capacidad de molde requerida en la norma, en función del TMN. Para agregados con TMN mayor a 37,5 mm y hasta 125 mm se debe revisar el método B denominado como golpeteo descrito por la norma del ensayo.

- Con la muestra en condición seca, se comienza a llenar el molde con ayuda de una pala o cucharón en 3 capas, se debe tener en cuenta el volumen del molde y dividirlo en tres partes iguales. Se llena la primera capa con el material y se deben los 25 golpes con la varilla de apisonamiento distribuidos uniformemente sobre la superficie.

- Luego se procede a repetir el procedimiento con las otras 2 capas, en cada una se deben dar 25 golpes uniformemente distribuidos, y la última capa se debe llenar de material hasta que se reboce el volumen del molde. A mismo, se debe realizar una nivelación del agregado en la superficie con el procedimiento descrito anteriormente para la condición suelta.

Nota: Durante la compactación de la primera capa no se debe permitir que la varilla golpee el fondo del molde, del mismo modo, para la compactación de la segunda y tercera capa se debe realizar aplicar un esfuerzo vigoroso, pero no tan exagerado que cause una penetración de la varilla de apisonamiento en la capa previa del agregado.

- Por último, con una brocha o cepillo se debe limpiar el material excedente en el exterior del molde, luego se lleva a la balanza correspondiente para registrar su peso. Del mismo modo el procedimiento se puede repetir 3 veces con el fin de obtener mejores resultados.

Calibración volumen del molde:

- Para determinar la masa unitaria del agregado se necesita conocer el volumen del molde, para esto es importante realizar una calibración de su volumen ya que puede existir un desgaste por uso y la abrasión de los procedimientos.
- Se debe registrar el peso del molde junto con una placa de vidrio en la superficie que ayudara a garantizar el volumen total del molde. Luego se aplica una ligera capa de grasa sobre el borde del molde para evitar fugas de agua.
- Luego se debe llenar el volumen del molde con agua a temperatura ambiente, y se cubre con la placa de vidrio. Para lograr esto se debe alinear la placa de manera horizontal con la superficie del molde, y con un movimiento firme se desliza sobre la película de agua, con el objetivo de retirar el exceso de agua y evitar burbujas de aire.
- Por último, con un paño absorbente se retira el exceso de agua en el exterior del molde y la placa de vidrio, y se lleva a la balanza para determinar su masa.

Nota: Se debe medir la temperatura del agua con el fin de conocer su densidad y determinar el volumen del molde con una mayor precisión. Si no se realiza esto se puede calcular el volumen a partir de un factor descrito en el numeral 10.3 de la norma del ensayo.



ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con los resultados obtenidos calcular el volumen del molde, la masa unitaria seca en condición suelta y compactada, la masa unitaria saturada superficialmente seca (SSS) en condición suelta y compactada, el porcentaje de vacíos en condición suelta y compactada, para el agregado fino y grueso según corresponda.

$$V = \frac{W - M}{D} \quad [1]$$

$$M_{seca} = \frac{G - T}{V} \quad [2]$$

$$M_{SSS} = M_{seca} \times \left(1 + \frac{A}{100}\right) \quad [3]$$

$$\%Vacíos = 100 \times \left[\frac{(\rho_r \times \rho_{H_2O}) \times M_{seca}}{(\rho_r \times \rho_{H_2O})} \right] \quad [4]$$

V = Volumen del molde (m^3)

M_{seca} = Masa unitaria seca del agregado (kg/m^3)

M_{SSS} = Masa unitaria saturada superficialmente seca del agregado (kg/m^3)

A = Porcentaje de absorción del agregado (%)

ρ_r = Densidad relativa del agregado

ρ_{H_2O} = Densidad del agua (998 kg/m^3)

$\%Vacíos$ = Porcentaje de vacíos (%)

- A partir de los resultados obtenidos se deben responder las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es la diferencia entre la masa unitaria suelta y compacta?
- ¿En qué condición del agregado se presenta una mayor densidad volumétrica?
- ¿Cuál agregado presenta un mayor porcentaje de vacíos?
- ¿Por qué es importante determinar el porcentaje de vacíos del agregado?



BIBLIOGRAFÍA

- Unidad de peso del suelo: Propiedad clave en diseño geotécnico. (2024, February 6). Geotexan. <https://geotexan.com/es/technical/soil-properties/unit-weight/>
- Maria Fernanda Serrano. (2020, August 14). Densidad bulk peso unitario ASTM C29 INVE 217 1080, Erlo Travi, Pontificia Universidad Javeriana [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=nKJlQtV6LrM>
- Waddell, J. J., & Dobrowolski, J. A. (1997). *Manual del concreto* (3.^a ed.). McGraw-Hill.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC]. (2019). *Método de ensayo para la determinación de la densidad volumétrica (masa unitaria) y vacíos en agregados* (NTC 92)



FORMATO TOMA DE DATOS

Tabla 1. Formato para registro de datos agregado fino.

DENSIDAD VOLUMÉTRICA Y VACÍOS AGREGADO FINO		
ID	DESCRIPCIÓN	PESO (kg)
T	Masa del molde	
MÉTODO A. APISONAMIENTO		
G	Masa del agregado más el molde	
MÉTODO C. PALEO		
G	Masa del agregado más el molde	

Tabla 2. Formato para registro de datos agregado grueso.

DENSIDAD VOLUMÉTRICA Y VACÍOS AGREGADO GRUESO		
ID	DESCRIPCIÓN	PESO (kg)
T	Masa del molde	
MÉTODO A. APISONAMIENTO		
G	Masa del agregado más el molde	
MÉTODO B. GOLPETEO		
G	Masa del agregado más el molde	
MÉTODO C. PALEO		
G	Masa del agregado más el molde	

Tabla 3. Formato para registro de datos volumen del molde.

CALIBRACIÓN VOLUMEN DEL MOLDE		
ID	DESCRIPCIÓN	MEDIDA
W	Masa del molde y la placa de vidrio (kg)	
M	Masa del molde, placa de vidrio y del agua (kg)	
C	Temperatura del agua (°C)	

OBSERVACIONES: