

## Práctica 2

### DENSIDAD RELATIVA Y DENSIDAD APARENTE DE UN MATERIAL EN POLVO

#### 1. Objetivos docentes

Conocer un método para determinar la densidad de un material en polvo. Conocer los distintos tipos de densidades que se pueden definir en un material poroso.

#### 2. Objetivo del trabajo práctico

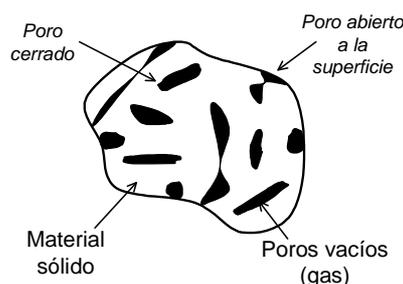
Determinar la densidad relativa a la del agua y la densidad aparente de las partículas de un suelo arcilloso cuyo tamaño de partícula es inferior a 80 micras. Esta práctica está basada en la norma UNE 103-302-94 “Determinación de la densidad relativa de las partículas de un suelo”.

#### 3. Fundamento teórico

##### La densidad de los materiales porosos

La densidad de un material es la masa por unidad de volumen que ocupa. Son unidades habituales de densidad el  $\text{g/cm}^3$ ,  $\text{kg/m}^3$  o  $\text{Mg/m}^3$ .

Sin embargo, los materiales porosos no rellenan todo el espacio. En el volumen que ocupan dejan unos espacios vacíos o huecos que se denominan poros. Normalmente los poros se encuentran llenos de gas o de líquido y van a dificultar la determinación del volumen y de la masa real de sólido a la hora de medir su densidad.



Por muy pequeña que sea una partícula sólida puede contener poros. Al igual que el tamaño de partícula, el tamaño de poro es muy variado: desde los macroporos que se observan a simple vista ( $> \text{mm}$ ) hasta los micro y nanoporos de unos pocos nanómetros. La porosidad es una característica del material que tiene un gran efecto en las propiedades del objeto final.

El material va a tener poros cerrados, aquellos que no están abiertos a la superficie externa del sólido, y poros abiertos, los que son accesibles desde la superficie.

En un sólido poroso se pueden definir tres tipos de volúmenes:

1) El volumen total ( $V_t$ ) se determina utilizando instrumentos como un calibre o un micrómetro para medir las dimensiones principales del objeto, y corresponde al volumen que ocupa el sólido con todos sus poros.

2) El volumen aparente ( $V_a$ ) es el volumen que desplaza el sólido cuando se sumerge en un líquido, el cual será el volumen de sólido y el volumen de poro cerrado ya que el líquido penetra en los poros abiertos.

3) El volumen último del sólido ( $V_u$ ) es el volumen real de sólido, y su determinación experimental es bastante más laboriosa.

Se tiene que cumplir que:

$$V_t = V_u + V_{\text{Poro cerrado}} + V_{\text{Poro abierto}} = V_a + V_{\text{Poro abierto}}$$

La porosidad es el porcentaje de volumen total de poro ( $V_{\text{Poro cerrado}} + V_{\text{Poro abierto}}$ ) respecto del volumen total ( $V_t$ ).

Asociados a estos tres volúmenes se definen tres tipos de densidades en los materiales porosos:

- Densidad volumétrica: es la densidad calculada cuando se ha medido el volumen total.

$$D_v = \frac{m}{V_t}$$

- Densidad aparente: es la densidad que proporciona el volumen aparente. Esta densidad es la que habitualmente se determina experimentalmente.

$$D_a = \frac{m}{V_a}$$

- Densidad última del sólido: es la densidad real del sólido. Para sólidos cristalinos se puede determinar una vez conocida la composición química exacta y la estructura cristalina, esto es, conociendo la masa y las dimensiones que tiene la celda unidad del compuesto.

$$D_u = \frac{m}{V_s}$$

Además de estas tres densidades, en el ámbito ingenieril se utiliza (entre otras) la densidad relativa ( $G$ ), que se define como la relación entre la densidad del material sólido y la densidad del agua a 20 °C:

$$G = \frac{D_a}{D_{\text{H}_2\text{O}}(20^\circ\text{C})}$$

Ésta es una magnitud adimensional, es decir, no tiene unidades.

La presencia de porosidad también introduce pequeñas desviaciones de los valores de la masa que se determina por pesada en una balanza, ya que los poros están llenos de aire u otro gas, y además la pesada se hace en aire donde el objeto está sometido al empuje del fluido. No obstante, estos efectos son despreciables y no suelen ser tenidos en cuenta, sobre todo cuando el gas es el aire.

El volumen de un material también varía con la temperatura (dilatación térmica) por lo que la densidad varía con la temperatura. Por tanto, los datos de densidad deben ir acompañados de la temperatura a la cual se han medido.

#### **4. Material e instrumental necesarios**

Picnómetros de Gay-Lussac de 50 ml (tres unidades)  
Embudo de cuello fino y largo  
Jeringa de plástico con aguja larga  
Vaso de precipitado o recipiente de boca ancha  
Cuchara para pesar  
Bandejita para pesar  
Balanza de precisión 0.001 g  
Paño seco  
Muestra de suelo arcilloso (que pase por un tamiz de 0,080 mm)  
Agua destilada

#### **5. Protocolo para la realización práctica**

Se dispone de suelo arcilloso (tamaño de partícula  $< 80 \mu\text{m}$ ) debidamente seleccionado y secado. La temperatura del ensayo será la temperatura del laboratorio. Tienes un termómetro a tu disposición para determinarla.

Se realizan tres experimentos independientes, por lo que los pasos siguientes se repetirán tres veces, una vez con cada uno de los tres picnómetros.

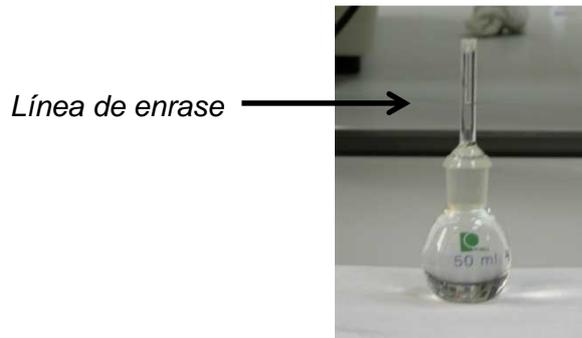
El volumen de cada picnómetro está calibrado con su cuello, por lo que ambas partes (cuerpo y cuello) están marcados con un número para identificarlos. Comprueba que los cuellos de los picnómetros están colocados correctamente y que no se borre el número durante el experimento.

##### ***1. Enrasado del picnómetro con agua y determinación de $M_1$***

Retira el cuello del picnómetro y llénalo hasta arriba con agua destilada. Introduce el cuello verticalmente con un movimiento rápido para que el agua ascienda por el capilar del cuello.

Una vez que el cuello esté bien encajado, se enrasa el picnómetro retirando el exceso de agua (utilizando la aguja introducida por el capilar del cuello) hasta la marca que tiene en el cuello. Si han quedado burbujas atrapadas hay que eliminarlas dándole golpecitos con el dedo al picnómetro o bien pinchándolas o absorbiéndolas con la aguja.

Vierte agua en un vaso de precipitado para poder llenar cómodamente la jeringa de agua cuando lo necesites.



Seca el exterior del picnómetro con un paño y pésalo en la balanza de sensibilidad 0.001 g. Esta masa es  $M_1$ .

### 2. Determinación de $M_2$

Retira el cuello del picnómetro y vacía el agua aproximadamente hasta la mitad (hasta la parte de abajo del cuadradito blanco que tienen pintado).

Sécalo y pésalo sin colocar el cuello. Esta es la masa  $M_2$ .

### 3. Determinación de $M_3$

La masa  $M_3$  es la del picnómetro sin cuello medio lleno de agua y con la muestra de suelo dentro.

Procede en primer lugar a pesar aproximadamente 10 g de muestra en polvo utilizando la bandejita y cuchara para pesar.

Introduce el embudo en el picnómetro de forma que el extremo inferior se sitúe por debajo de la parte donde ajusta el cuello del picnómetro pero sin tocar el agua. Vierte la muestra en el embudo poco a poco para introducirla en el picnómetro. Hay que evitar que quede polvo en la superficie de contacto entre el cuerpo y el cuello del picnómetro.

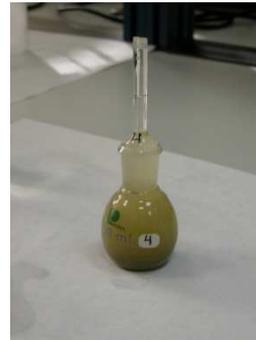
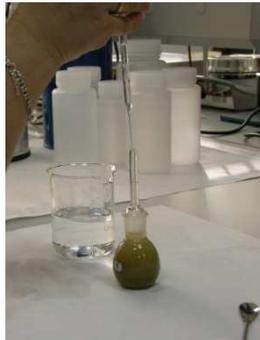


Una vez introducido el polvo, agita circularmente el picnómetro para que el material se moje bien y se eliminen las burbujas de aire atrapadas entre las partículas de polvo.

Seca el picnómetro por fuera y pésalo para determinar  $M_3$ .

#### 4. Determinación de $M_4$

Rellena con agua destilada el picnómetro hasta por debajo de la parte donde se introduce el cuello con cuidado de no introducir burbujas. Coloca el cuello y termina de enrasar el picnómetro introduciendo el agua restante por el capilar de cuello con ayuda de la jeringa con aguja larga. Para evitar la formación de burbujas, elimina el aire de la jeringa antes de introducir la aguja en el capilar, sumerge la aguja en el agua del picnómetro e inyecta el líquido lentamente haciéndolo resbalar por la pared. Si quedan burbujas se eliminan agitando el picnómetro circularmente y dándole golpecitos o inclinándolo hasta que las burbujas encuentren el camino hacia arriba. Cuando se detectan, se eliminan las burbujas atrapadas pinchándolas con la aguja y extrayendo el aire.



Una vez libre de burbujas y enrasado, seca el picnómetro y pésalo en la balanza de 0.001 g para determinar  $M_4$ .

Repite este proceso para los otros 2 picnómetros, de modo que en total, tendrás 3 experimentos independientes.

#### 5. Lavar el material utilizado en la práctica:

Los picnómetros se lavan con abundante agua del grifo, luego se enjuagan con un poco de agua destilada y se dejan secando en el lugar de trabajo.

La bandejita y cuchara de pesar se limpian con un poco de papel secamanos.

La aguja se enjuaga bien utilizando la jeringa y el agua destilada sobrante del experimento y se deja secando en la estufa a 60 - 70 °C (de esto se encarga el profesor de prácticas).

El resto de material se deja secando en el lugar de trabajo.

#### 6. Determinación de la densidad relativa

La densidad relativa del suelo con respecto a la del agua a la temperatura del ensayo ( $G_T$ ) viene dada por la expresión:

$$G_T = \frac{M_3 - M_2}{(M_3 - M_2) + (M_1 - M_4)}$$

La densidad relativa ( $G$ ) es a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , por lo que para calcularla hay que multiplicar  $G_T$  por la densidad del agua a la temperatura  $T$  del ensayo, (ver Tabla) y dividir por la densidad del agua a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

$$G = G_T \frac{D_{H_2O}(T)}{D_{H_2O}(20^{\circ}\text{C})}$$

T ( $^{\circ}\text{C}$ )	$D_{H_2O}$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
15	0,999099
16	0,998943
17	0,998774
18	0,998595
19	0,998405
20	0,998203
21	0,997992
22	0,997770
23	0,997538
24	0,997296
25	0,997044
26	0,996783

A partir de  $G$  se calcula la densidad aparente ( $D_a$ ) del sólido, como se ha comentado previamente:

$$G = \frac{D_a}{D_{H_2O}(20^{\circ}\text{C})}$$

## 6. Ejercicios y Cuestiones

- Deduce razonadamente la fórmula para calcular la densidad relativa a partir de  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  y  $M_4$ .
- Indica de forma correcta la densidad relativa ( $G \pm \Delta G$ ) y la densidad aparente ( $D_a \pm \Delta D_a$ ) para cada uno de los 3 experimentos, calculando los errores por propagación según la teoría de medidas.
- Con los datos de los tres experimentos calcula la densidad aparente (mediante el valor medio y mediante el error cuadrático medio) del material en polvo según la teoría de medidas.
- Compara el error cuadrático medio (error estadístico) con el calculado por propagación de errores para una sola medida. ¿Cuál es mayor? ¿A qué se debe esa diferencia?
- Determina si es necesario realizar más medidas para obtener la densidad aparente del sistema en polvo según las normas de la teoría de medidas. Identifica posibles fuentes de error en este experimento.