

## EJERCICIOS DE DENSIDAD, POROSIDAD Y PESO DEL SUELO

Prof. Rogelio Álvarez Hernández

**¿Qué es la Densidad?** La **densidad** de un cuerpo muestra la densidad de ese objeto en un área específica dada. **La densidad de un material se define como su masa por unidad de volumen.** La densidad es suficiente una medida de qué tan unida está la materia. Es una propiedad física única de un objeto en particular. El principio de la Densidad fue descubierto por el griego Arquímedes. Es fácil calcular la densidad si conoce la fórmula y las unidades relacionadas.

**Definición de Densidad.** La densidad es la medida de qué tan apretado se empaqueta un material. Se define como la masa por unidad de volumen.

**Símbolo de Densidad:** El símbolo  $\rho$  {letra griega rho} representa la densidad o también se puede representar con la letra **D**.

**Fórmula de Densidad.**  $\rho = m \div V$ , donde  $\rho$  es la densidad, **m** es la masa del cuerpo y **V** es el volumen del objeto. Se puede usar la fórmula:

$$D = \frac{PSS}{V}$$

Donde: D = densidad; PSS = peso del suelo seco y V = volumen

**Peso unitario.** Consiste en determinar la densidad total como el resultado de dividir la masa de un agregado en estado seco (en cierto 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 g/cm<sup>3</sup>.

**Peso específico de los sólidos (*Densidad de Partículas o Densidad Real, Dr*).** El peso específico de los sólidos varía, comúnmente, entre los valores de 2.5 a 2.8 g/cm<sup>3</sup>. Es equivalente a **Gravedad específica** El valor de ella depende de la composición mineralógica de las partículas que constituyen el suelo. Para GRAVAS, ARENAS Y LIMOS, SU VALOR ES DE  $\approx 2.65$  g/cm<sup>3</sup>, PERO PARA ARCILLAS VARÍA ENTRE 2.6 Y 2.7 g/cm<sup>3</sup>.

**Humedad.** El valor para el contenido de humedad cuando la saturación es 100%, puede variar entre 15 Y 30% PARA SUELOS ARENOSOS, 60 Y 70% PARA ARCILLAS Y SUPERA EL 100% PARA SUELOS EN PRESENCIA DE MO, COMO LA TURBA (SUELOS ORGÁNICOS).

**Saturación.** Se refiere al contenido de agua del suelo cuando todos los espacios están llenos de agua. En suelos bien drenados es un estado temporal ya que el exceso de agua drena de los poros grandes por influencia de la gravedad para ser reemplazada por aire.

**Porosidad (EP).** Se refiere al porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos. El volumen del suelo está constituido por 50% materiales sólidos (45% minerales y 5% MO) y 50% de EP. **EN SUELOS GRANULARES, LA POROSIDAD VARÍA DE 36 A 48%, Y EN LAS ARCILLAS, ES ENTRE 35 Y 83%.**

**Ejemplos de densidad.** El Fe, el Pt y el Pb son ejemplos de **materiales densos**. Muchos tipos de rocas y minerales son ejemplos de material denso. Es más probable que los materiales que son densos se “sientan” pesados o duros. Lo contrario de denso es ligero y algunos ejemplos de **material liviano** son el vidrio, el bambú, el  $Al^{3+}$  y la espuma de poliestireno. Los líquidos son menos densos que los sólidos y los gases son menos densos que los líquidos. Esto se debe a que los sólidos tienen partículas densamente empaquetadas, los líquidos son materiales en los que las partículas pueden deslizarse unas en torno a otras y los gases tienen partículas que pueden moverse libremente por todas partes.

**Unidades de densidad.** AUNQUE LA UNIDAD EN EL SISTEMA INGLÉS DE DENSIDAD ES  $Kg/m^3$ , POR CONVENIENCIA USAMOS  $g/cm^3$  PARA SÓLIDOS,  $g/ml$  PARA LÍQUIDOS Y  $g/L$  PARA GASES. La densidad se puede explicar cómo la relación entre la masa de la sustancia y el volumen que ocupa. Cualitativamente, muestra cuánto pesa un objeto a volumen constante. Diferentes sustancias tienen diferentes densidades, lo que significa que para el mismo volumen de diferentes sustancias pesan diferente.

**Sistema Internacional. Unidades de densidad.** Cada sustancia tiene una densidad específica o Dap. La densidad del agua ( $\approx 1 \text{ gramo}/cm^3$ ) se toma como el valor estándar para calcular la densidad de las sustancias. Pero, la unidad en el Sistema Internacional de densidad se mide usando kilogramos por metro cúbico ( $Kg/m^3$ ).

**Otras unidades de densidad.** También se usan unidades que no forman parte del SI: (1) Gramos por mililitro ( $g/mL$  o  $gmL^{-1}$ ). (2) Tonelada métrica por metro cúbico ( $t/m^3$  o  $tm^{-3}$ ). (3) Kilogramos por litro ( $Kg/L$  o  $Kg L^{-1}$ ). (4) Megagramos por metro cúbico ( $Mg/m^3$  o  $Mg m^{-3}$ ). (5) Gramos por centímetro cubico ( $g/cm^3$  o  $g cm^{-3}$ ). (6) Kilogramos por decímetro cúbico ( $Kg/dm^3$  o  $Kg dm^{-3}$ ).

**Aplicaciones de la densidad en la vida real.** Hay muchas aplicaciones de la densidad en la vida real, algunos ejemplos son: el diseño de tuberías, la construcción naval, los globos de helio, la distribución del peso en el avión y el hecho de que el hielo flota en el agua. El conocimiento de las densidades de dos sustancias te ayuda en las técnicas de separación. Así, la separación del aceite del agua. Si hay una fuga de un tanque de aceite en el océano, las gotas de aceite comienzan a flotar en el agua debido a la menor densidad que el agua. Otra aplicación de la densidad es determinar si un objeto flotará en el agua o no. La flotación de los barcos y el buceo de los submarinos se deben a su diferencia de densidad.

## DENSIDAD APARENTE: FÓRMULA, UNIDADES Y EJERCICIOS RESUELTOS

Zapata, Fanny. (2020). DENSIDAD APARENTE: FÓRMULA, UNIDADES Y EJERCICIOS RESUELTOS. Recuperado de: <https://www.lifeder.com/densidad-aparente/>. [21 enero 2022].

La **Dap** de una muestra se define como el cociente entre su masa y el volumen sin alterar, que incluye todos los espacios o poros que contenga. Si en estos espacios hay aire, la **densidad aparente, Dap,  $\rho_b$ , o bulk density** es:

$$\text{Dap} = \text{Masa} \div \text{Volumen} = \text{Masa}_{\text{partículas}} + \text{Masa}_{\text{aire}} \div \text{Volumen}_{\text{partículas}} + \text{Volumen}_{\text{aire}}$$

Si se calcula la Dap de una muestra de suelo, hay que secarla previamente en un horno a 105°C hasta que la masa sea constante, indicativo de que todo el aire se ha evaporado. Según a esta definición, la **Dap de los suelos o densidad seca**, se calcula de esta forma:

$$\rho_s = \text{Peso de los elementos sólidos} \div \text{Volumen}_{\text{sólidos}} + \text{Volumen}_{\text{poros}}$$

Donde:  $M_s$  es peso o masa secos y  $V_t = V_s + V_p$  como el volumen total, la fórmula queda:  $\rho_s = M_s / V_t$ . [ $\rho$ , letra rho griega]

**Unidades.** Las unidades de la Dap en el Sistema Internacional de Unidades son  $\text{Kg/m}^3$ . Sin embargo, otras unidades como  $\text{g/cm}^3$  y megagramos/  $\text{m}^3$  ( $\text{Mg/m}^3$ ) también se utilizan. El concepto de Dap es muy útil si se trata de materiales heterogéneos y porosos como los suelos, pues es indicativo de su capacidad de drenaje y aireación. Así, los suelos poco porosos tienen Dap altas, son compactos y tienden a inundarse fácilmente, a diferencia de los suelos porosos. Cuando en los poros de la muestra hay agua u otro fluido, el volumen después de secado reduce, por ello, al instante de efectuar los cálculos se debe conocer la proporción de agua original.

**Densidad aparente del suelo (Dap).** La Dap de los materiales en general, es muy variable, ya que hay factores como el grado de compactación, la presencia de MO, textura, estructura, la profundidad y otros más, que afectan la forma y la cantidad de los espacios porosos. Los suelos se definen como una mezcla heterogénea de sustancias inorgánicas, sustancias orgánicas, aire y agua. Al tacto pueden ser de **textura fina, mediana o gruesa**, mientras que las partículas componentes pueden organizarse de diversas maneras, un parámetro llamado **ESTRUCTURA**. Los suelos finos, bien estructurados y con alto porcentaje de MO tienen valores bajos de Dap. Por el contrario, suelos gruesos, con menos MO y poca estructuración, tienen valores más altos.

**Dap según la textura.** De acuerdo a su textura la Dap tiene los siguientes valores en  $\text{g/cm}^3$ : FINA (1.0-1.3), MEDIANA (1.3-1.5) Y GRUESA (1.5-1.7). Estos valores son referencia general. EN SUELOS TURBOSOS U ORGÁNICOS, RICOS EN RESTOS VEGETALES, LA DAP PUEDE ES TAN BAJA COMO **0.25  $\text{g/cm}^3$** , SI ES UN SUELO MINERAL VOLCÁNICO ES DE **0.85  $\text{g/cm}^3$** , EN SUELOS MUY COMPACTADOS ES  $\geq 1.90 \text{ g/cm}^3$ .

**Dap según la profundidad.** El valor de Dap también crece con la profundidad, ya que el suelo por está más compactado y tiene un porcentaje menor de MO. El interior del terreno está compuesto de capas o estratos horizontales, llamadas **HORIZONTES**, los cuales tienen diferentes texturas,

composición y compactación. Por ello, presentan variación en cuanto a la Dap. Un estudio del suelo se basa en su **PERFIL**, que consta de diversos horizontes que se ordenan en forma vertical.

**¿Cómo medir la Dap?** Puesto que la variabilidad en la Dap es muy grande, con frecuencia hay que medirla directamente mediante diversos procedimientos. El método más simple consiste en extraer del suelo una muestra, introduciendo en él una barrena con un cilindro metálico espacial de volumen conocido y asegurándose de no compactar el suelo. La muestra extraída queda sellada, para evitar la pérdida de humedad o la alteración de las características. Luego en el laboratorio la muestra se extrae, se pesa y después se coloca en un horno a 105°C para que se seque durante 24 horas.

Si bien es la manera más simple de encontrar la Dap del suelo, no es la más recomendable para suelos con texturas muy sueltas o pedregosos. Para estos es preferible el método de cavar un hoyo y guardar la tierra extraída, que será la muestra para secar. El volumen de la muestra se determina vertiendo arena seca o agua en el hoyo cavado. En todo caso, a partir de la muestra es posible determinar propiedades muy interesantes del suelo para caracterizarlo. El siguiente ejercicio resuelto se describe cómo hacerlo.

### **EJERCICIO RESUELTO 1.**

Una muestra de arcilla de longitud 100 mm se extrae del cilindro de muestra, cuyo Ø interno es de 100 mm. Al pesarla se obtiene una masa de 1,531 g, que una vez seca se reduce a 1.178 g. La gravedad específica de las partículas o densidad real ( $D_r$ ) es 2.75 g/cm<sup>3</sup>. Se pide calcular: a) Dap de la muestra; b) Contenido de humedad; c) Espacio poroso; d) Densidad seca; e) Grado de saturación; f) Contenido de aire

**SOLUCIÓN A.** El volumen sin alterar  $V_t$  es el volumen original de la muestra. Para un cilindro de Ø y altura h, el volumen es:

$$V_{\text{cilindro}} = V_t = \text{Área de la base} \cdot \text{altura} = (\pi \cdot r^2) \\ = \pi (5 \text{ cm})^2 (10 \text{ cm}) = 250 \pi = \boxed{785.3982 \text{ cm}^3}$$

**La Masa de la muestra o  $M_s$  = 1,531 g, por ello, según la ecuación dada al inicio:**

$$\rightarrow \text{Dap} = M_s \div V_t = 1,531 \text{ g} \div 785.3982 \text{ cm}^3 = \boxed{1.9493 \text{ g / cm}^3}$$

**SOLUCIÓN B.** Como tenemos la masa original y la masa seca, la masa del agua contenida en la muestra es la diferencia de estas dos:

$$M_{\text{agua}} = 1.531 \text{ g} - 1.178 \text{ g} = \boxed{353 \text{ g}}$$

**El porcentaje de humedad en la muestra se calcula así:**

$$\% \text{ Humedad} = (\text{Masa}_{\text{agua}} \div \text{Masa}_{\text{seca}}) \times 100 \% \\ = (353 \text{ g} \div 1,178 \text{ g}) \times 100 = \boxed{29.966\%} \approx \boxed{29.97\%}$$

**SOLUCIÓN C.** Para hallar la relación de vacíos es preciso desglosar el volumen total de la muestra  $V_t$  en:  $V_t = V_{\text{partículas}} + V_{\text{poros}}$

El volumen ocupado por las partículas se obtiene de la masa seca y la gravedad específica son datos que se obtienen del enunciado. La **gravedad específica  $S_g$**  es el cociente entre la densidad del material y la densidad del agua en condiciones estándar, por ello, la densidad del material es:

$$\rho = S_g * \rho_{\text{agua}} = 2.75 * 1 \text{ g/cm}^3 = \boxed{2.75 \text{ g/cm}^3}$$

$$\rho = M_s \div V_s \rightarrow V_s = 1.178 \text{ g} \div 2.75 \text{ g/cm}^3 = 0.428 \text{ cm}^3 = \boxed{0.000428 \text{ m}^3}$$

El volumen de vacíos en la muestra es  $V_v = V_t - V_s =$

$$0.000785 \text{ m}^3 \text{ (volumen del cilindro)} - 0.000428 \text{ m}^3 = \boxed{0.000357 \text{ m}^3}$$

La relación de vacíos  $e$  es:  $e = V_v \div V_s = 0.000357 \text{ m}^3 \div 0.000428 \text{ m}^3 = \boxed{0.834}$

**SOLUCIÓN D.** La densidad seca de la muestra se calcula como se indicó en antes:

$$\begin{aligned} \rho_s &= \text{Peso de los elementos sólidos} \div \text{Volumen sólidos} + \text{Volumen poros} \\ &= 1,178 \text{ g} \div 0.000785 \text{ m}^3 \text{ (volumen del cilindro)} = \boxed{1,500,636.943 \text{ g/m}^3} \\ &\rightarrow 1,500.636943 \approx \boxed{1.5 \text{ Mg/m}^3 \text{ o t/m}^3} \end{aligned}$$

**SOLUCIÓN E.** El grado de saturación es  $S = (V_{\text{agua}} \div V_v) \times 100\%$ . Puesto que conocemos la masa de agua en la muestra, calculada en el ítem b) y la densidad de la misma, el cálculo su volumen es inmediato:

$$\rho_{\text{agua}} = M_{\text{agua}} \div V_{\text{agua}} \rightarrow V_{\text{agua}} = 353 \text{ g} \div 1 \text{ g/cm}^3 = \boxed{353 \text{ cm}^3 = 0.000353 \text{ m}^3}$$

Por otro lado, el volumen de vacíos se calculó en el ítem c)

$$S = (0.000353 \text{ m}^3 \div 0.000357 \text{ m}^3) * 100\% = \boxed{98.9\%}$$

**Solución F.** Finalmente, el contenido porcentual de aire es  $A = (V_{\text{aire}} \div V_t) * 100\%$ . El volumen de aire corresponde a:

$$\begin{aligned} V_v - V_{\text{agua}} &= 0.000357 \text{ m}^3 - 0.000353 \text{ m}^3 = \boxed{0.000004 \text{ m}^3} \\ A &= (V_{\text{aire}} \div V_t) \times 100\% = (0.000004 \text{ m}^3 \div 0.000785 \text{ m}^3) * 100\% = \boxed{0.51\%} \end{aligned}$$

## **EJERCICIO RESUELTO 2.**

En un análisis de una muestra de suelo se obtuvieron los siguientes resultados:

**Masa húmeda ( $M_h$ )** 1,385 gr.; **Masa seca ( $M_s$ )** 1,142 gr.; **Volumen total ( $V_t$ )** muestra de suelo 763  $\text{cm}^3$

**La gravedad específica ( $D_r$ ) de las partículas de suelo es** 2.73  $\text{g/cm}^3$

**Densidad húmeda.** Como tenemos de dato la masa húmeda de la muestra de suelo y el volumen total de la misma podemos calcular directamente la densidad húmeda de la muestra de suelo.

$$P_H \text{ (peso húmedo)} = m_H \div V_t = 1,385 \text{ g} \div 763 \text{ cm}^3 = 1.82 \text{ g/cm}^3 = \boxed{1.82 \text{ Kg/L}}$$

**Densidad seca.** Como tenemos de dato la masa seca de la muestra de suelo y su volumen total, podemos calcular directamente la densidad seca de la muestra de suelo.

$$P_s \text{ (peso seco)} = m_s \div V_t = 1,142 \text{ g} \div 763 \text{ cm}^3 = 1.5 \text{ g/cm}^3 = \boxed{1.5 \text{ Kg/L}}$$

**Densidad de las partículas sólidas o densidad real (Dr).** La densidad de las partículas sólidas (**Dr**) es la relación entre la masa de las partículas sólidas y el volumen de las partículas sólidas, que corresponden, a la masa seca de la muestra de suelo y al volumen seco de la muestra de suelo. Como no conocemos el volumen seco de la muestra de suelo, no podemos calcular la densidad de las partículas sólidas.

Pero conocemos que la gravedad específica (**G<sub>s</sub>**) de las partículas de suelo, es la relación entre la densidad de las partículas sólidas (**ρ<sub>sol</sub>**) y la densidad del agua (**ρ<sub>w</sub>**).

$$G_s = P_{sol} \div P_w \rightarrow P_{sol} = G_s * P_w = 2.73 * 1 \text{ gr/cm}^3 = \boxed{2.73 \text{ gr/cm}^3}$$

Ahora podemos calcular el volumen de las partículas sólidas ya que conocemos la densidad de las partículas sólidas y su masa.

$$\rho_{sol} = m_s \div V_s \rightarrow V_s = m_s \div \rho_{sol} = 1,142 \text{ g} \div 2.73 \text{ gr/cm}^3 = \boxed{418 \text{ cm}^3}$$

### **Contenido de humedad**

$$W = (m_w \div m_s) * 100\% = (243 \text{ gr} \div 1,142 \text{ gr}) * 100\% = \boxed{21.3\%}$$

### **Grado de saturación**

$$S_r = (V_w \div V_t) * 100\% = (243 \text{ cm}^3 \div 345 \text{ cm}^3) * 100\% = \boxed{70.4\%}$$

### **Contenido de aire**

$$A_r = [(V_A \div V_T) * 100\%] = [(V_V \div V_W) \div V_T] * 100\% = [(345 \text{ cm}^3 \div 243 \text{ cm}^3) \div V_T] * 100\% = \boxed{13.4\%}$$

## **DIVERSOS PROBLEMAS RESUELTOS**

**Problema 1.** Calcular la Dap de una muestra de suelo de 400 cm<sup>3</sup> (**V<sub>s</sub>**) que pesa 575 g secado al horno (**M<sub>s</sub>**).

$$D_{ap} = M_s \div V_s = 575 \text{ g} \div 400 \text{ cm}^3 = \boxed{1.44 \text{ g/cm}^3}$$

**Problema 2.** Calcular la Dap de una muestra de suelo de 400 cm<sup>3</sup> (**V<sub>s</sub>**) que pesa 600 g secado al horno (**M<sub>s</sub>**) y que tiene 10% de humedad.

$$\text{Peso seco al horno} = 600 \text{ g} \div 1.1 = \boxed{545.5 \text{ g}}$$

$$D_{ap} = M_s \div V_s = 545.5 \text{ g} \div 400 \text{ cm}^3 = \boxed{1.36 \text{ g/cm}^3}$$

**Problema 3.** Calcula el volumen de una muestra de suelo que tiene 12% de humedad, pesa 650 g y tiene una Dap de 1.3 g/cm<sup>3</sup>.

$$\text{Peso seco al horno} = 650 \text{ g (M}_s) \div 1.12 \text{ (la unidad + 12\% de humedad)} = \boxed{580.4 \text{ g}}$$

$$= 580.4 \text{ g/cm}^3 \div 1.3 \text{ g/cm}^3 \text{ (Dap del suelo)} = \boxed{446.4 \text{ cm}^3}$$

**Problema 4.** Calcule la Dap de una muestra de suelo rectangular con dimensiones de 12 cm X 6 cm X 4 cm, que tiene un contenido de humedad del 15% y pesa 320 g.

$$\text{Volumen de tierra} = 12 \text{ cm} * 6 \text{ cm} * 4 \text{ cm} = \boxed{288 \text{ cm}^3}$$

$$\text{Peso seco al horno} = 320 \div 1.15 = \boxed{278 \text{ g}}$$

$$\text{Dap} = 278 \text{ (Ms)} \div 288 \text{ (Vs)} = \boxed{0.966 \text{ g/cm}^3} \text{ (Dap del suelo)}$$

**Problema 5.** Calcular la porosidad de una muestra de suelo que tiene una Dap de  $1.35 \text{ g cm}^{-3}$ . Suponga que la Dr es  $2.65 \text{ g cm}^{-3}$

$$\text{Porosidad} = [(100 - (\text{Dap} \div \text{Dr})) * 100] = [(100 - (1.35 \div 2.65) * 100)] = \boxed{49\%}$$

**Problema 6.** Calcular la porosidad (n) de un terrón de  $250 \text{ cm}^3$  que contiene  $140 \text{ cm}^3$  de agua cuando está saturado y el volumen total de la porosidad está ocupado por agua.

$$\text{Porosidad} = [(V \text{ agua} \div V \text{ total}) * 100] = [(140 \text{ cm}^3 \div 250 \text{ cm}^3) * 100] = (0.56 * 100) = \boxed{56\%}$$

**Problema 7.** Calcular la Dr de una muestra de suelo que tiene una Dap de  $1.55 \text{ g cm}^{-3}$  y una porosidad de 40%.

$$\text{Porosidad} = [(100 - (\text{Dap} \div \text{Dr}) * 100)] \Rightarrow [(100 - (1.55 \div \text{Dr}) * 100)] \Rightarrow 1.55 \div \text{Dr} \Rightarrow \text{Dr} = \boxed{2.58 \text{ g/cm}^3}$$

**Problema 8.** Calcular la Dap de una muestra de suelo que tiene una porosidad del 45%; para  $1 \text{ cm}^3$  de suelo asumimos un Dr de  $2.65 \text{ g/cm}^3$

$$1 \text{ cm}^3 - 0.45 \text{ cm}^3 = 0.55 * 2.65 \text{ g cm}^3 = \boxed{1.46 \text{ g/cm}^3}$$

**Problema 9.** Calcular la porosidad de una muestra de  $250 \text{ g}$  que contiene  $65 \text{ g}$  de agua cuando el 55% de los poros están llenos de agua.

$$\text{Peso seco al horno} = 250 \text{ g} - 65 \text{ g} = \boxed{185 \text{ g suelo}}$$

$$\text{Volumen de sólidos del suelo} = 185 \text{ g} \div 2.65 \text{ g/cm}^3 = \boxed{69.8 \text{ cm}^3 \text{ de suelo}}$$

$$\text{Contenido de agua saturada} = 65 \text{ cm}^3 \div 0.55 = \boxed{118.2 \text{ cm}^3 \text{ de agua}}$$

$$\text{Volumen total de suelo} = 118.2 \text{ cm}^3 + 69.8 \text{ cm}^3 = \boxed{188 \text{ cm}^3}$$

$$\text{Porosidad} = V \text{ aire} + V \text{ agua} \div V \text{ total} = 118.2 \text{ cm}^3 \div 188 \text{ cm}^3 * 100 = \boxed{63\%}$$

**Problema 10.** Calcular la Dr de una muestra de suelo que tiene una Dap de  $1.55 \text{ g/cm}^3$  y una porosidad del 40%.

$$\text{Porosidad} = [100 - (\text{Dap} \div \text{Dr}) * 100] \rightarrow 40 = [100 - (1.55 \div \text{Dr}) * 100]$$

$$\Rightarrow 40 = [100 - (1.55 \div \text{Dr}) * 100] \rightarrow 40 = [100 - (155 \div \text{Dr})] \Rightarrow 40 = [100 - 155 \div \text{Dr}]$$

$$\rightarrow 40 - 100 = -155 \div \text{Dr} \Rightarrow -60 = -155 \div \text{Dr} \rightarrow -60 (\text{Dr}) = -155$$

$$\Rightarrow \text{Dr} = -155 \div -60 \Rightarrow \text{Dr} = \boxed{2.58 \text{ g/cm}^3}$$

## CÁLCULO DE DENSIDADES DE ROCAS Y MINERALES

**Problema 1:** Tienes una roca con un volumen de 15 cm<sup>3</sup> y una masa de 45 g. ¿Cuál es su densidad?

**Solución.** La densidad es masa dividida por volumen, por lo que la densidad es 45 g dividido por 15 cm<sup>3</sup>, que es 3.0 g/cm<sup>3</sup>.

$$\text{Densidad} = \text{Masa} \div \text{Volumen} = 45 \text{ g} \div 15 \text{ cm}^3 = \boxed{3.0 \text{ g/cm}^3}$$

**Problema 2:** Tienes una roca diferente con un volumen de 30 cm<sup>3</sup> y una masa de 60 g. ¿Cuál es su densidad?

La densidad es masa ÷ volumen → la densidad es 60 g ÷ 30 cm<sup>3</sup> →  $\boxed{2.0 \text{ g/cm}^3}$

$$\text{Densidad} = \text{Masa} \div \text{Volumen} = 60 \text{ g} \div 30 \text{ cm}^3 = \boxed{2.0 \text{ g/cm}^3}$$

**Problema 3:** En los dos ejemplos anteriores, ¿cuál roca es más pesada? ¿Cuál es más liviana? La pregunta es sobre más pesado y más liviano, lo que se refiere a masa o peso. Por lo tanto, todo lo que te importa es la masa en gramos, por lo que la roca de 60 g del segundo problema es más pesada y la roca de 45 g (de la primera pregunta) es más liviana.

**Problema 4:** En los dos ejemplos anteriores, ¿cuál roca es más densa? ¿cuál es menos densa? La pregunta es acerca de la densidad, y esa es la relación entre la masa y el volumen. Por lo tanto, la primera roca es más densa (densidad = 3.0 g/cm<sup>3</sup>) y la segunda roca es menos densa, aunque pesa más, porque su densidad es solo 2.0 g/cm<sup>3</sup>. Este ejemplo muestra por qué es importante tener cuidado de no usar las palabras más pesado/ligero cuando se quiere decir más o menos denso.

**Problema 5:** Decides que quieres llevar una roca de la playa a casa. Mide 30 centímetros de lado, por lo que tiene un volumen de 27,000 cm<sup>3</sup>. Está hecho de granito, que tiene una densidad típica de 2.8 g/cm<sup>3</sup>. ¿Cuánto pesará esta roca?

En este caso, se le pide una masa, no la densidad. Deberá reorganizar la ecuación de densidad para obtener masa.

$$\text{Densidad} = \text{Masa} \div \text{Volumen}$$

Al multiplicar ambos lados por el volumen, la masa se quedará sola

$$\text{Volumen} \times \text{Densidad} = \text{Masa}$$

$$\begin{aligned} \text{Sustituyendo los valores: } 27,000 \text{ cm}^3 \times 2.8 \text{ g/cm}^3 &= \text{Masa} = \boxed{75,600 \text{ g}} \\ &= \boxed{165 \text{ libras} \approx 74.8427 \text{ Kg}} \end{aligned}$$

**Problema 6:** A veces se utilizan rocas a lo largo de las costas para evitar la erosión. Si una roca necesita pesar 2,000 kilogramos (2 toneladas) para que las olas no la muevan, ¿Qué **volumen** debe tener? Se está utilizando un tipo de **BASALTO**, que tiene una densidad típica de 2,900 kg/m<sup>3</sup>.

En este problema, necesita un volumen, por lo que deberá reorganizar la ecuación de densidad para obtener el volumen.



$$\text{Densidad} = \text{Masa} / \text{Volumen}$$

Multiplicar ambos lados por volumen para sacar volumen del numerador

$$\text{Volumen} * \text{Densidad} = \text{Masa}$$

Luego puede dividir ambos lados por densidad para obtener solo el volumen:

$$\text{Volumen} = \text{Masa} \div \text{Densidad}$$

Al sustituir los valores indicados antes:  $\text{Volumen} = 2,000 \text{ Kg} \div 2,900 \text{ Kg/m}^3 = \boxed{0.689 \text{ m}^3}$

Hay que tener en cuenta que el problema anterior muestra que las densidades pueden estar en unidades distintas de gramos y centímetros cúbicos. Para evitar los problemas potenciales de diferentes unidades, muchos geólogos usan la gravedad específica (SG), explorada en los problemas 8 y 9 a continuación.

**Problema 7:** Te entregan un cubo de color dorado. La persona quiere que lo compres por \$US100, diciendo que es una pepita de oro. Sacas tu texto de geología y buscas oro en la tabla de minerales, y lees que su densidad es de  $19.3 \text{ g/cm}^3$ . Mides el cubo y encuentras que mide 2 cm de lado y pesa 40 g. ¿Cuál es su densidad? ¿Es oro? ¿Deberías comprarlo?

$$\text{Densidad} = \text{Masa} \div \text{Volumen}$$

Conoces la masa (40 g), pero no se da el volumen.

Para encontrar el volumen, usa la fórmula para el volumen de una caja

$$\text{Volumen} = \text{longitud} * \text{ancho} * \text{altura} = 2 \text{ cm} * 2 \text{ cm} * 2 \text{ cm} = \boxed{8 \text{ cm}^3}$$

$$\text{Densidad} = \text{Masa} \div \text{Volumen} = 40 \text{ g} \div 8 \text{ cm}^3 = \boxed{5.0 \text{ g/cm}^3 \text{ (PIRITA)}}$$

Por lo tanto, EL CUBO NO ES ORO, ya que la densidad ( $5.0 \text{ g/cm}^3$ ) no es la misma que la del oro ( $19.3 \text{ g/cm}^3$ ). Incluso podrías notar que la densidad de la PIRITA (conocida como oro de los tontos) es de  $5.0 \text{ g/cm}^3$ . ¡Afortunadamente no eres tonto y sabes acerca de la densidad!

**Problema 8:** Tienes una muestra de GRANITO con una densidad de  $2.8 \text{ g/cm}^3$ . La densidad del agua es  $1.0 \text{ g/cm}^3$ . ¿Cuál es la gravedad específica de tu GRANITO?

La gravedad específica es la densidad de la sustancia dividida por la densidad del agua. Tenga en cuenta que las unidades se cancelan, por lo que esta respuesta no tiene unidades. Decimos "**el número no tiene unidades**".

$$\text{SG} = \text{Densidad de un objeto} \div \text{Densidad de agua} = 2.8 \text{ g/cm}^3 \div 1.0 \text{ g/cm}^3 = \boxed{2.8 \text{ g/cm}^3}$$

**Problema 9:** Tienes una muestra de granito con una densidad de  $174.8 \text{ lbs/ft}^3$ . La densidad del agua es  $62.4 \text{ lbs/ft}^3$ . ¿Cuál es la gravedad específica del granito? Nuevamente, la gravedad específica es la densidad de la sustancia dividida por la densidad del agua, por lo que

$$\text{SG} = \text{Densidad de un objeto} \div \text{Densidad de agua} = 174.8 \text{ lbs/ft}^3 \div 62.4 \text{ lbs/ft}^3 = \boxed{2.8 \text{ lbs/ft}^3}$$

Esto muestra que la gravedad específica no cambia cuando las mediciones se realizan en diferentes unidades, siempre que la densidad del objeto y la densidad del agua estén en las mismas unidades.

La densidad es una medida que compara la cantidad de materia que tiene un objeto con su volumen. Un objeto con mucha materia en cierto volumen tiene una alta densidad.

### OTROS PROBLEMAS RESUELTOS

**Pregunta 1.** Toma dos cajas que tengan el mismo volumen. Llene la primera caja con x bolas y la segunda caja con 6x bolas. Si la masa de cada bola es la misma, ¿qué caja pesaría más?

La caja que tiene más bolas tiene más masa por unidad de volumen. Aquí la primera caja contiene x número de bolas y la segunda caja contiene 6x número de bolas. Dado que el número de bolas en la segunda caja es 6 veces la primera caja, la segunda caja pesaría más. Esta propiedad de la materia se llama densidad.

**Pregunta 2.** Calcular la densidad del agua con una masa de 1.16 Kg y un volumen de 1 m<sup>3</sup>.

**Datos: Masa = 1,160 kg; Volumen = 1 m<sup>3</sup>**

$$\text{Densidad} = \text{Masa} / \text{Volumen} = 1,160/1 = \boxed{1,160 \text{ Kg/m}^3}$$

**Pregunta 3.** Si encuentras una roca brillante, un **alótropo de Carbono** con un volumen de 0.042 cm<sup>3</sup> y una masa de 0.14 g, ¿Es **grafito o diamante**? La densidad del grafito es de 2.266 g/cm<sup>3</sup> y la densidad del diamante es de 3.51 g/cm<sup>3</sup>.

**Datos: Volumen de la roca brillante = 0.042 cm<sup>3</sup>; Masa de la roca brillante = 0.14 g;**

**Densidad del grafito = 2.266 g/cm<sup>3</sup>; Densidad del diamante = 3.53 g/cm<sup>3</sup>; usa la ecuación de densidad para resolver m, la masa de grafito y la masa de un diamante.**

$$r = m \div V \Rightarrow m = \rho V$$

$$m = 2.23 \text{ g/cm}^3 * 0.042 \text{ cm}^3 = \boxed{0.0937 \text{ g para grafito}}$$

$$m = 3.51 \text{ g/cm}^3 * 0.042 \text{ cm}^3 = \boxed{1.1474 \text{ g para diamante}}$$

**La masa de la roca brillante que encontraste es idéntica a la masa del DIAMANTE**

### PESO DE UN SUELO AGRÍCOLA

Con el valor de la Dap de un suelo agrícola podemos calcular el peso de una determinada superficie de terreno (m<sup>2</sup>) a una cierta profundidad (m):

**Ejemplo 1.** Calcular el peso de un terreno de 10,000 m<sup>2</sup> (1 ha) a una profundidad de 40 cm (0.40 m) y que tiene un valor de Dap de 1.6 g/cm<sup>2</sup>.

**Tenemos que calcular el volumen del suelo del cual deseamos calcular su peso:**

$$\text{Volumen de suelo} = [\text{superficie (m}^2\text{)}] [\text{profundidad (m)}]$$

$$\text{Volumen de suelo} = (10,000 \text{ m}^2) (0.40 \text{ m}) = \boxed{4,000 \text{ m}^3}$$

Ya sabemos que nuestro terreno de 10,000 m<sup>2</sup> a una profundidad de 30 cm tiene un volumen total (Vt) de 3,000 m<sup>3</sup>. Usando el valor de la Dap se puede, con la siguiente fórmula, establecer el valor del peso del suelo:

$$\text{Peso del suelo (ton)} = (\text{Dap}) * (\text{Volumen del suelo})$$

$$\text{Peso del suelo (ton)} = (1.60) * (4,000) = \boxed{6,500 \text{ ton}} = \boxed{6,400,000 \text{ Kg}}$$

El suelo puede tener diferentes valores de Dap según su profundidad. Con el laboreo, los valores de Dap son < en los horizontes subyacentes de la capa arable. El ejemplo nos da una situación característica

**Ejemplo 2.** Calcular el peso de un suelo de 3.5 ha de superficie a 60 cm de profundidad. La Dap de los primeros 40 cm es de 1.25 g/cm<sup>3</sup> y de 1.52 g/cm<sup>3</sup> la profundidad restante. Se realizan los cálculos primero a una profundidad y con un valor de Dap, luego se calcula la otra profundidad con el diferente valor de Dap, así, sucesivamente, y al final se suman los pesos.

1	Profundidad de 0 a 40 cm	$V_t = (35,000 \text{ m}^2) (0.40 \text{ m}) = 14,000 \text{ m}^3$
2	Profundidad de 40 a 60 cm	$V_t = (35,000 \text{ m}^2) (0.20 \text{ m}) = 7,000 \text{ m}^3$
3	Peso a los 40 cm	Peso del suelo = (1.25) (14,000) = 17,500 ton
4	Peso de los 40 a los 60 cm	Peso del suelo = (1.52) (7,000) = 10,640 ton
5	Peso total del terreno	17,500 + 10,640 = 10,380 ton = 28,140 ton = 28'140,000 Kg

### EJERCICIOS PROPUESTOS (DENSIDAD, POROSIDAD Y PESO DEL SUELO).

- Una muestra de suelo con 40% de porosidad tiene un volumen total de 120 cm<sup>3</sup> y un contenido de humedad de 0.3 cm<sup>3</sup>. Si la Dr es de 2.5 g/cm<sup>3</sup>. ¿Cuál es la Dap?  
**Resultado: 1.5 g/cm<sup>3</sup>.**
- Un suelo húmedo tiene un contenido de humedad de 0.15 g. Si se necesitan 200 g. de suelo seco para un experimento ¿Cuántos gramos de suelo húmedo se necesitan?  
**Resultado: 230 g de suelo húmedo.**
- Un suelo tiene una porosidad de 0.45 cm<sup>3</sup>. Si el contenido de humedad del suelo es de 0.20 g y la Dr promedio es de 2.6 g/cm<sup>3</sup>. Calcule los cm de agua en una profundidad de 30 cm de suelo. **Resultado: 8.58 cm.**
- Un terrón natural de suelo húmedo tiene un volumen de 150 cm<sup>3</sup>, un peso húmedo de 240 g y un espacio ocupado por aire de 0.15 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>. Si la Dr es de 2.65 g/cm<sup>3</sup>. Calcular:  
a) Dap en base a peso seco. b) Contenido de humedad en base a peso. c) Contenido de humedad en base a volumen. d) Porosidad total. **Resultado: a) 1.2 g/cm<sup>3</sup>. b) 32.8 %. c) 39.54 %. d) 81.82 cm<sup>3</sup>.**
- El contenido de humedad de un suelo a CC es de 0.4 cm<sup>3</sup>. Indique la altura de agua (cm) que hay que adicionar a este suelo para reponer totalmente la humedad aprovechable en una profundidad de 100 cm. **Resultado: 18.14 cm.**
- Una muestra de suelo tiene un contenido de humedad de 35% (base peso). ¿Qué volumen de agua se debe añadir a una muestra de 1 Kg de ese suelo para que su contenido de humedad aumente a un 50%? **Resultado: 150 cm<sup>3</sup>.**

7. Se tomó una muestra de suelo a los 15 cm de profundidad que pesó 350 g, luego fue secada en una estufa a 105°C por 24 horas y su peso fue de 280 g. Si la  $D_{ap}$  de dicho suelo es de 1.3 g/cm<sup>3</sup> calcule: a) El volumen de agua que tenía la muestra de suelo en el campo. b) El contenido gravimétrico de humedad que tenía la muestra de suelo en el campo. c) El contenido volumétrico de humedad que tenía la muestra de suelo en el campo. d) La altura de agua que tienen los primeros 30 cm de profundidad de dicho suelo. e) Si posteriormente a la toma de muestra del suelo, cae una lluvia de 14 mm ¿Qué profundidad de suelo queda a CC? **Resultado: a) 7 cm<sup>3</sup>. b) 0.25 g/g. c) 0.325 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>. d) 9.75 cm. e) 7.1 cm de profundidad.**
8. ¿Cuál es la carga máxima que ha de soportar un camión de 5 m<sup>3</sup> de capacidad si la arena que acarrea está completamente saturada?  $D_a = 1.8$  g/cm<sup>3</sup>. **Resultado: 10.6 ton.**
9. Calcular el volumen de agua en media hectárea (5,000 m<sup>2</sup>) de un suelo que tiene un contenido de humedad de un 23%,  $D_{ap} = 1.35$  g/cm<sup>3</sup> y una profundidad de 75 cm. **Resultado: 1,164 m<sup>3</sup>.**
10. Una muestra de suelo húmedo tiene una masa de 1,000 g y un volumen de 640 cm<sup>3</sup>. Al ser secada en una estufa a 105°C por 24 horas su masa seca fue de 800 g. Calcule la  $D_{ap}$ , el volumen de agua y el volumen de suelo seco. Asuma una  $D_r$  de 2.65 g/cm<sup>3</sup>. **Resultado:  $D_a = 1.25$  g/cm<sup>3</sup>;  $V_w = 200$  cm<sup>3</sup>;  $V_s = 301.8$  cm<sup>3</sup>.**