EJERCICIOS RESUELTOS

EJERCICIO 4

Se mezcla cierta cantidad de un suelo seco cuyas partículas sólidas presentan una densidad relativa G = 2'7 con un 10'5 % de agua en peso.

Esta mezcla se introduce en un cilindro de 150 mm de diámetro y 125 mm de altura y se compacta hasta que el volumen de aire dentro del suelo es el 5 % del volumen total.

Suponiendo que la mezcla ha llenado completamente el cilindro, se pide:

1. Determinar la masa del suelo seco utilizada. - *Valoración: 0'5/10* -
2. Obtener el peso específico del suelo seco compactado. - *Valoración: 0'2/10* -
3. Calcular el índice de huecos de la mezcla compactada. - *Valoración: 0'2/10* -
4. Si mediante ensayos se ha obtenido que el suelo seco en su situación más compacta presenta un índice de huecos $e_{mín}$ = 0'317 y en la situación más suelta $e_{máx}$ = 0'507, calcular el índice de densidad del suelo compactado en el cilindro. - *Valoración: 0'35/10* -

Datos: γ_w = 9'8 kN/m^3 ; g = 9'8 m/s^2.

---

1. Masa del suelo seco.

Se puede escribir la siguiente relación volumétrica

$$\mathbf{V = V_S + V_H = V_S + V_w + V_{aire}} \qquad \textbf{(1)}$$

en donde, según el enunciado del problema

$$\mathbf{V_{aire} = 0'05 \cdot V} \qquad \textbf{(2)}$$

y

$$\mathbf{V = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot H = \frac{\pi}{4} \cdot 15^2 \cdot 12'5 = 2.208'93\ cm^3} \qquad \textbf{(3)}$$

Por lo tanto, llevando **(2)** y **(3)** a **(1)** se tiene

$$\mathbf{V = V_S + V_w + 0'05 \cdot V \Rightarrow 0'95 \cdot V = V_S + V_w \Rightarrow V_S + V_w = 2.098'48\ cm^3} \qquad \textbf{(4)}$$

Además, teniendo en cuenta la expresión de la densidad relativa de las partículas sólidas,

$$\mathbf{G = \frac{\gamma_S}{\gamma_w}} \qquad \textbf{(5)}$$

se puede obtener el valor de γ_S

$$\gamma_S = G \cdot \gamma_w = 2'7 \cdot 9'8 = 26'46 \text{ kN/m}^3 \qquad \textbf{(6)}$$

que recordemos, es por definición

$$\gamma_S = \frac{W_S}{V_S} \quad \Rightarrow \quad V_S = \frac{W_S}{\gamma_S} \qquad \textbf{(7)}$$

Como también se cumple

$$\gamma_w = \frac{W_w}{V_w} \quad \Rightarrow \quad V_w = \frac{W_w}{\gamma_w} \qquad \textbf{(8)}$$

llevando las expresiones **(7)** y **(8)** a **(4)** resulta

$$\frac{W_S}{\gamma_S} + \frac{W_w}{\gamma_w} = 2.098'48 \text{ cm}^3 \qquad \textbf{(9)}$$

Por último, la humedad natural, **w**, es

$$w = \frac{W_w}{W_S} \qquad \textbf{(10)}$$

de donde

$$W_w = w \cdot W_S \qquad \textbf{(11)}$$

que llevando a **(9)** da lugar a

$$\frac{W_S}{\gamma_S} + \frac{w \cdot W_S}{\gamma_w} = W_S \cdot \left(\frac{1}{\gamma_S} + \frac{w}{\gamma_w} \right) = 2.098'48 \text{ cm}^3 \qquad \textbf{(12)}$$

Teniendo en cuenta que $w = 10'5\ \% = 0'105$, $\gamma_S = 26'46$ **kN/m**^{3} y $\gamma_w = 9'8$ **kN/m**^{3}, y que, además, se cumple que

$$\mathbf{W_S = M_S \cdot g} \qquad \textbf{(13)}$$

siendo **g = 9'8 m/s²**, se obtiene finalmente

$$\boxed{\mathbf{M_S = 4.414'43\ g}} \qquad \textbf{(14)}$$

2. El <u>peso específico del suelo seco compactado</u>, γ_{dcomp}, será, directamente

$$\underline{\gamma_{dcomp}} = \frac{W_S}{V} = \frac{M_S \cdot g}{V} = \frac{4.414'43 \cdot 9'8}{2.208'93} = \underline{19'58\ kN/m^3} \qquad \textbf{(15)}$$

3. <u>Indice de huecos de la mezcla compactada</u>.

Utilizando la expresión que relaciona el índice de huecos con el peso específico seco y con el peso específico de las partículas sólidas

$$e_{comp} = \frac{\gamma_S - \gamma_{dcomp}}{\gamma_{dcomp}} \qquad \textbf{(16)}$$

y sustituyendo valores, se tiene

$$\underline{e_{comp}} = \frac{26'46 - 19'58}{19'58} = \underline{0'351} \qquad \textbf{(17)}$$

4. <u>Indice de densidad del suelo compactado</u>.

La expresión del índice de densidad, I_D, en términos de pesos específicos es

$$I_D = \frac{\gamma_d - \gamma_{d\,mín}}{\gamma_{d\,máx} - \gamma_{d\,mín}} \qquad \textbf{(18)}$$

Para el suelo indicado, los pesos específicos secos máximo y mínimo, serán:

$$\gamma_{d\,máx} = \frac{\gamma_S}{(1 + e_{mín})} = \frac{26'46}{(1 + 0'317)} = 20'09\ kN/m^3 \qquad \textbf{(19)}$$

$$\gamma_{d\,mín} = \frac{\gamma_S}{(1 + e_{máx})} = \frac{26'46}{(1 + 0'507)} = 17'56\ kN/m^3 \qquad \textbf{(20)}$$

Además, se ha determinado previamente el peso específico seco del suelo compactado, γ_{dcomp} **= 19'58 kN/m³**, por lo que llevando este valor y los obtenidos en **(19)** y **(20)** a **(18)**

resulta

$$\boxed{I_D = 0'7984 = 79'84\ \%} \qquad (21)$$

EJERCICIOS RESUELTOS

Se tiene en laboratorio una muestra inalterada de un terreno de masa 523'18 g y volumen 282'96 cm^3. Tras proceder a su secado completo en estufa su masa se redujo hasta un valor de 479'83 g. Posteriormente se pretendió determinar la densidad relativa de las partículas sólidas, pero no se pudo llevar a cabo porque parte del equipamiento necesario no funcionaba correctamente.

1. En esta situación, ¿se podría determinar la porosidad del suelo?. Razonar la respuesta.

A continuación, y tal como indica la norma ASTM correspondiente, se saturó la muestra con mercurio, resultando ahora la masa total 1.991'60 g. Se pide:

2. Determinar el índice de huecos del suelo.
3. Calcular el peso específico de las partículas sólidas del suelo.

Además, mediante los ensayos correspondientes se han determinado las densidades secas máxima y mínima del suelo, que tomaron los siguientes valores: $\rho_{dmín}$ = 1'45 g/cm^3, $\rho_{dmáx}$ = 2 g/cm^3.

Se quiere utilizar ese suelo para obra civil, pero es preciso que su índice de densidad sea 0'9, para lo cual será necesario compactarlo (la compactación disminuye únicamente el volumen de aire, pero no afecta al agua, que no abandona el suelo). Se pide:

4. Calcular el peso específico aparente del suelo compactado hasta el índice de densidad indicado.

Dato: Densidad del mercurio: ρ_{Hg} = 13'6 g/cm^3

1. Se tiene como datos $M = 523'18\,g$, $V = 282'96\,cm^3$ y $M_s = 479'83\,g$. De aquí se pueden obtener los siguientes parámetros:

$$\gamma = \frac{M \cdot g}{V} = 18'12\,kN/m^3 \quad , \quad \gamma_d = \frac{M_s \cdot g}{V} = 16'62\,kN/m^3$$

$$w = \frac{M_w}{M_s} = \frac{M - M_s}{M_s} = 0'090 = 9'0\%$$

No se podría obtener nada más, y tampoco la porosidad del suelo, que es lo que se pide en esta pregunta.

2. <u>Índice de huecos.</u>

Por definición es

$$e = \frac{V_H}{V_s} = \frac{V_H}{V - V_H}$$

Por lo tanto el problema consiste en determinar el volumen de huecos, V_H.

Una vez saturado el suelo seco en estufa con mercurio se cumplirá

$$M_{TOTAL} = M_s + M_{Hg} \Rightarrow M_{Hg} = 1991'60 - 479'83 = 1511'77\,g$$

Además,

$$\rho_{Hg} = \frac{M_{Hg}}{V_{Hg}} \Rightarrow V_{Hg} = \frac{1511'77}{13'6} = 111'16\,cm^3 = V_H \text{ (por estar saturado)}$$

Por lo tanto, el índice de huecos queda

$$\underline{\underline{e}} = \frac{V_H}{V - V_H} = \underline{\underline{0'647}}$$

3. Cálculo de γ_s

Es directo a partir de su definición

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} = \frac{M_s \cdot g}{V - V_H} = \frac{479'83 \cdot 9'8}{282'96 - 111'16} = 27'37 \text{ kN/m}^3$$

4. El índice de densidad del suelo es

$$I_D = \frac{\rho_d - \rho_{dmín}}{\rho_{dmáx} - \rho_{dmín}}$$

en donde $\rho_d = \frac{\gamma_d}{g} = \frac{16'62}{9'8} = 1'70 \text{ g/cm}^3$ Por tanto, sustituyendo valores se tiene

$$I_D = \frac{1'70 - 1'45}{2 - 1'45} = 0'45 < 0'9$$

Es decir, tal como dice el enunciado habría que compactar el suelo. En el suelo compactado se cumplirá

$$I_D = 0'9 = \frac{\rho_{dcomp} - \rho_{dmín}}{\rho_{dmáx} - \rho_{dmín}} = \frac{\rho_{dcomp} - 1'45}{2 - 1'45} \Rightarrow \rho_{dcomp} = 1'95 \text{ g/cm}^3$$

El peso específico del suelo seco, γ_d, será:

$$\gamma_{dcomp} = \rho_{dcomp}\, g = 19'11 \text{ kN/m}^3$$

y el peso específico aparente

$$\gamma_{comp} = \gamma_{dcomp}(1 + w) = 19'11(1 + 0'09) = 20'83 \text{ kN/m}^3$$