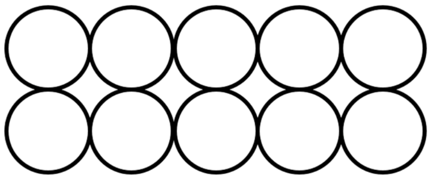
ÍNDICE DE HUECOS EN UN SUELO IDEAL FORMADO POR ESFERAS DE IGUAL TAMAÑO

Procedimientos de Construcción. Prof. Víctor Yepes

PROBLEMA. Calcular el índice de huecos máximo y mínimo y su porosidad de un suelo ideal formado por unas partículas esféricas. Evaluar la compactibilidad de este suelo y estimar qué descenso experimentará el espesor de una capa de esferas en su estado más suelto que se recoloca a su estado más compacto, tanto para el caso de una capa de tres esferas como para cuando el número de capas es suficientemente alto.

Solución:

Tal y como se puede ver en la siguiente figura, el índice de huecos máximo es aquel en el que cada esfera está en contacto con otras seis, mientras que el mínimo es aquel en que cada esfera está en contacto con otras doce.



Agrupaciones de esferas iguales
con índice de huecos máximo

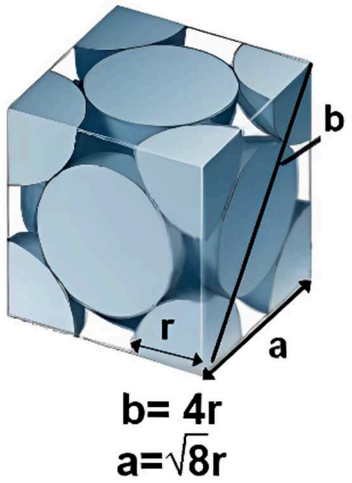
Por tanto, el índice de huecos máximo es el siguiente:

$$e_{max} = \frac{V_v}{V_s} = \frac{(2 \cdot r)^3 - \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3}{\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3} = \frac{6 - \pi}{\pi} = 0{,}9099$$

De esta forma, la porosidad máxima sería:

$$n_{max} = \frac{V_v}{V} = \frac{e_{max}}{1 + e_{max}} = 1 - \frac{\pi}{6} = 0{,}4764$$

Para calcular el índice de huecos máximo podemos comprobar en la siguiente figura que en un cubo de lado $\sqrt{8} \cdot r$ caben cuatro esferas de radio *r* (seis semiesferas en cada lado del cubo y ocho octavos de esfera en cada una de las esquinas).



De esta forma, el índice de huecos mínimo sería:

$$e_{min} = \frac{V_v}{V_s} = \frac{\left(\sqrt{8} \cdot r\right)^3 - 4 \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3}{4 \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3} = \frac{\sqrt{8}^3 \cdot 3}{16 \cdot \pi} - 1 = 0{,}3505$$

Y la porosidad mínima:

$$n_{min} = \frac{V_v}{V} = \frac{e_{min}}{1 + e_{min}} = \frac{0{,}3505}{1 + 0{,}3505} = 0{,}2595$$

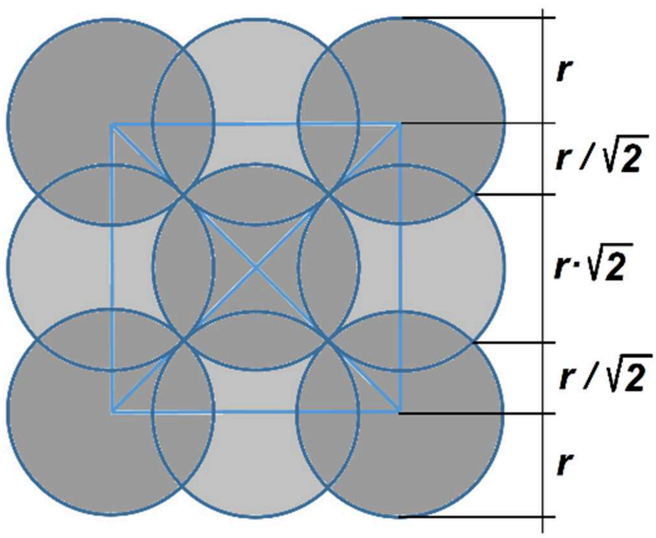
La compactibilidad de un suelo granular, *F*, se calcula de la siguiente forma:

$$F = \frac{e_{máx} - e_{mín}}{e_{mín}} = \frac{0{,}9099 - 0{,}3505}{0{,}3505} = 1{,}5960$$

Por otra parte, tres capas de esferas iguales colocadas con su índice de huecos máximo tendrían el siguiente espesor:

$$H = 6 \cdot r$$

En cambio, con su índice de huecos mínimo, el espesor sería menor, tal y como se muestra en la siguiente figura:



$$H' = 2 \cdot r + \frac{2 \cdot r}{\sqrt{2}} + r \cdot \sqrt{2} = r \cdot \left(2 + \frac{2}{\sqrt{2}} + \sqrt{2}\right) = 2 \cdot r \cdot \left(1 + \sqrt{2}\right)$$

La reducción del espesor, respecto al inicial, será el siguiente:

$$\frac{H - H'}{H} = \frac{6 \cdot r - 2 \cdot r \cdot \left(1 + \sqrt{2}\right)}{6 \cdot r} = 1 - \frac{\left(1 + \sqrt{2}\right)}{3} = 0{,}1953 = 19{,}53\ \%$$

Sin embargo, este es un caso particular. Suponiendo que existe un número suficientemente alto de capas, en una celda elemental con el índice de huecos mínimo:

$$H' = r \cdot \sqrt{8} = 2r \cdot \sqrt{2}$$

En esa misma celda elemental, con el índice de huecos máximo:

$$H = 4r$$

Por tanto, la reducción de espesor sería:

$$\frac{H - H'}{H} = \frac{4 \cdot r - 2r \cdot \sqrt{2}}{4 \cdot r} = \frac{2 - \sqrt{2}}{2} = 0{,}2929 = 29{,}29\ \%$$

Referencias:

YEPES, V. (2021). *Procedimientos de construcción para la compactación y mejora del terreno*. Colección Manual de Referencia, 1ª edición. Editorial Universitat Politècnica de València, 426 pp. Ref. 428. ISBN: 978-84-9048-603-0.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional.