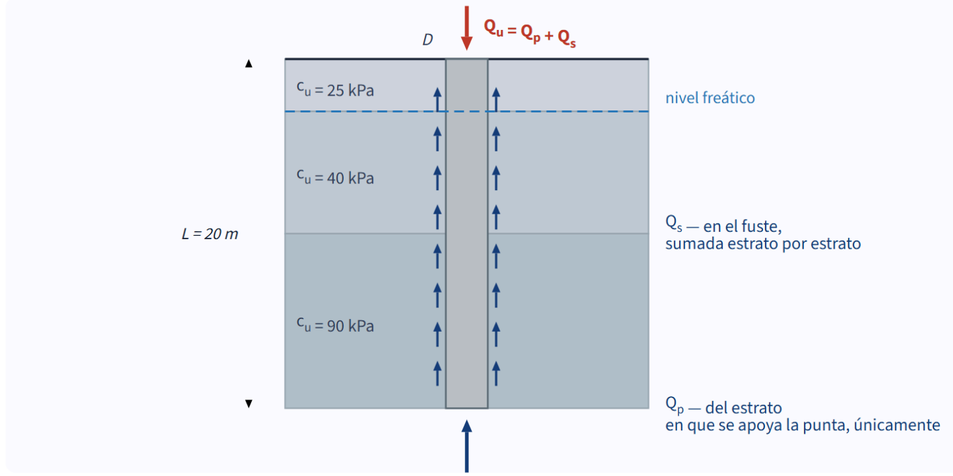
Presentación de clase de geotecnia · Pilotes

Capacidad portante de pilotes en arcilla

Clase: resistencia por punta sin drenaje, resistencia por fuste mediante los métodos α, λ y β, pilote perforado. La teoría de cada método, seguida de un ejemplo resuelto.

Meyerhof · Vesic | Métodos α · λ · β | Pilote perforado | Ejemplos resueltos



Se basa en la página de teoría de GeoTerva · geoterva.com

¿Qué aprenderemos en esta clase?

- Poder explicar por qué la arcilla se trata como **sin drenaje** ($\varphi = 0$) y dónde interviene, no obstante, la tensión efectiva
- Saber calcular la **resistencia por punta** con dos métodos: Meyerhof ($N^*_c = 9$) y Vesic (rigidez)
- Calcular la resistencia por fuste con **tres enfoques**: α, λ y β
- Poder aplicar las reglas particulares del **pilote perforado**: $\alpha^* = 0$ en las dos longitudes, su propia expresión de base
- Llegar a la **capacidad portante admisible** e interpretar conjuntamente los resultados de los enfoques

DESARROLLO DE LA CLASE

Cada método se desarrolla en **tres pasos**:

1 · **Teoría**: ¿cómo funciona el método y por qué así?

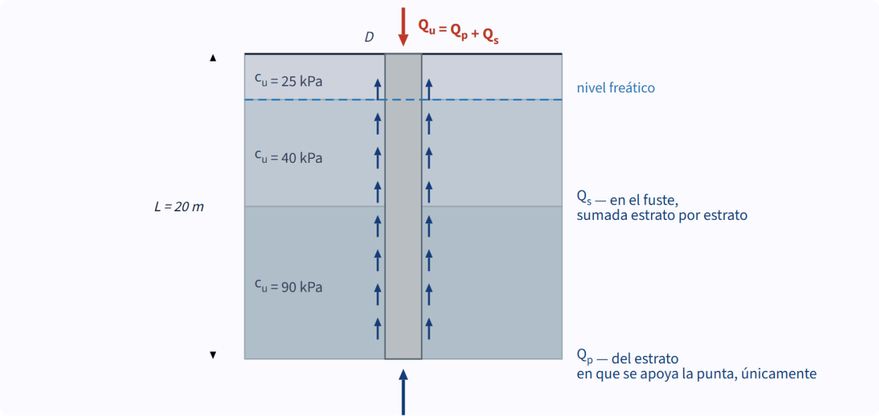
2 · **Enunciado**: datos y se pide

3 · **Solución**: paso a paso, con números

La mayoría de los ejemplos se resuelven con el mismo pilote: un pilote tubular de 20 m de longitud que atraviesa tres estratos de arcilla.

La carga se transmite por dos vías

TEORÍA



El pilote transmite su carga al terreno **por dos vías a la vez**: la arcilla situada bajo la punta resiste con la **resistencia por punta** (Q_p), como una cimentación profunda, y la arcilla a lo largo del fuste con la **adherencia** (Q_s).

$$Q_u = Q_p + Q_s \qquad Q_{all} = \frac{Q_u}{FS}$$

En arcilla, la **resistencia por fuste** se suma estrato a estrato; la **resistencia por punta** procede únicamente del estrato en que se encuentra la punta.

En un perfil típico la punta es una parte muy pequeña del total: en el pilote del ejemplo, aproximadamente **una novena parte**; el fuste, en cambio, alrededor de ocho novenas partes. La incertidumbre también se encuentra sobre todo en el fuste.

En esta clase: **pilote aislado**, arcilla, hincado o perforado, de sección constante.

¿Por qué la arcilla se trata con φ = 0?

TEORÍA

En arcilla saturada, la carga de la estructura llega **mucho más rápido** de lo que el agua puede drenar; la arcilla se corta **sin variación de volumen**. En este caso la resistencia es un único número: la **resistencia al corte sin drenaje** c_u, y el ángulo de rozamiento es cero.

$$\varphi = 0 \qquad \tau_f = c_u$$

Gran diferencia respecto de la arena: la resistencia ya no crece en proporción a la tensión efectiva. Un pilote en arcilla no es «un pilote en arena con otros números».

No obstante, **dos métodos** utilizan la tensión efectiva: el método λ (su valor medio a lo largo de la longitud) y el método β (que se basa íntegramente en ella). Por ello, el **nivel freático** también es relevante aquí; no afecta a la resistencia por punta ni al método α.

TENSIÓN EFECTIVA (PARA λ Y β)

$$\sigma' = \sum \gamma_i h_i \qquad \text{(sobre el NF)}$$
$$\sigma' = \sum (\gamma_{sat,i} - \gamma_w) h_i \qquad \text{(bajo el NF)}$$

γ_W = 9.81 kN/m³

En suelo estratificado la pendiente de σ′ cambia en cada estrato y en el nivel freático

Enunciado

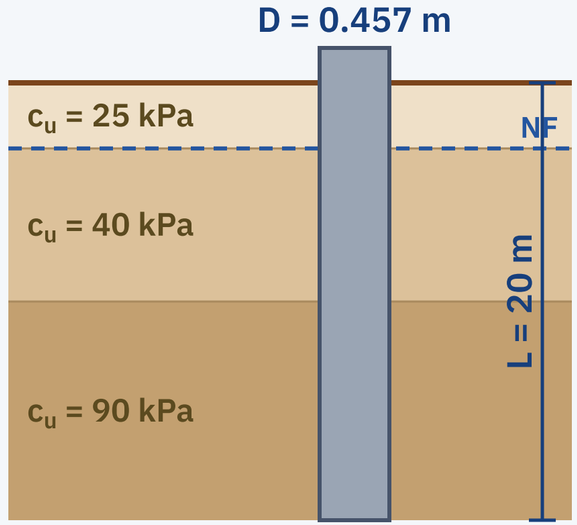
EJEMPLO

Datos

Arcilla 1 (0–3 m)	$c_u = 25\ \text{kPa},\ \gamma = 16\ \text{kN/m}^3$
Arcilla 2 (3–10 m)	$c_u = 40\ \text{kPa},\ \gamma = 17\ \text{kN/m}^3$
Arcilla 3 (10–20 m)	$c_u = 90\ \text{kPa},\ \gamma = 18\ \text{kN/m}^3$
Nivel freático (NF)	**a 3.0 m de profundidad**
Pilote	**pilote tubular, D = 0.457 m, L = 20 m**
Peso específico del agua	$\gamma_w = 9.81\ \text{kN/m}^3$

SE PIDE

En los límites de los estratos (3, 10 y 20 m) determinar la **tensión vertical efectiva** y, a lo largo de toda la longitud, la **tensión efectiva media** σ'_o.



Solución (1/2)

SOLUCIÓN

1 3 m (nivel freático) y límites de los estratos: por debajo del nivel freático, $\gamma' = \gamma - \gamma_w$

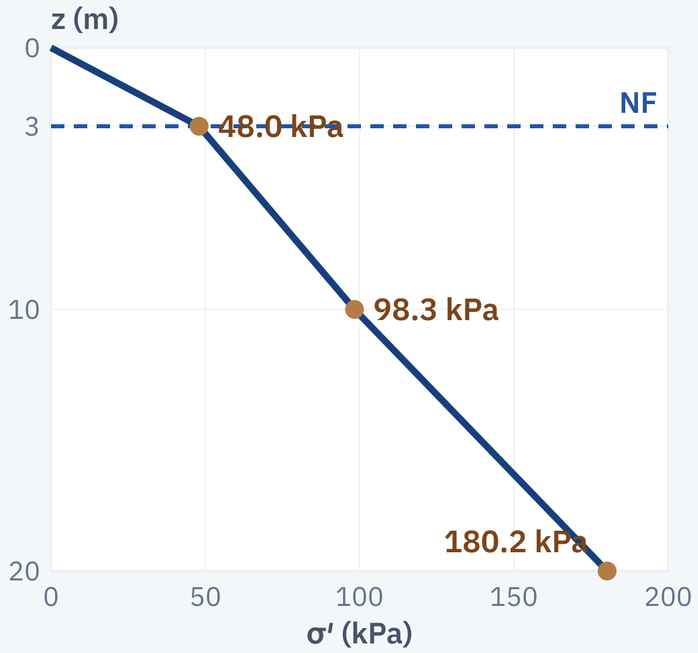
$$\sigma'(3) = 16(3) = \mathbf{48.0}\ \text{kPa}$$

2 Profundidad de 10 m (final del segundo estrato)

$$\sigma'(10) = 48.0 + (17 - 9.81)(7) = \mathbf{98.3}\ \text{kPa}$$

3 Profundidad de 20 m (punta del pilote)

$$\sigma'(20) = 98.3 + (18 - 9.81)(10) = \mathbf{180.2}\ \text{kPa}$$



Solución (2/2)

SOLUCIÓN

4 Área del diagrama de σ′ en cada estrato (trapecio)

$$A_1 = \tfrac{1}{2}(0 + 48.0)(3) = 72.0$$
$$A_2 = \tfrac{1}{2}(48.0 + 98.3)(7) = 512.2$$
$$A_3 = \tfrac{1}{2}(98.3 + 180.2)(10) = 1{,}392.8$$

5 Tensión efectiva media: área total / longitud

$$\bar{\sigma}'_o = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{L} = \frac{1{,}977.0}{20} = \mathbf{98.85}\ \text{kPa}$$

El promedio es menor que la mitad del valor en el extremo (98.8 < 90.1): la tensión no aumenta linealmente con la profundidad y la pendiente cambia en el nivel freático. Este valor de σ̄′ₒ se utilizará en el método λ.

Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Resistencia por punta: arcilla bajo la punta del pilote

TEORÍA

En arcilla saturada sin drenaje el ángulo de rozamiento es nulo; la **resistencia neta última por punta** del pilote es el producto de la cohesión sin drenaje de la arcilla situada bajo la punta por un coeficiente:

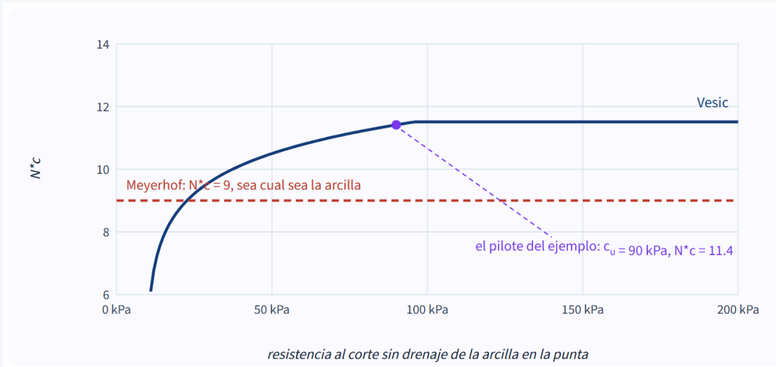
$$Q_p = A_p\, q_p = A_p\, c_u\, N_c^*$$

c_u : resistencia al corte sin drenaje de la arcilla **bajo la punta**

N^*_c : factor de capacidad portante (dos enfoques a continuación)

A_p : área de la punta del pilote

> La resistencia de la arcilla que el pilote **atraviesa** no actúa sobre la punta: esa resistencia corresponde al fuste.



Dos enfoques: Meyerhof adopta el coeficiente igual a **9**; Vesic, en cambio, lo relaciona con la **rigidez** de la arcilla.

Meyerhof: constante igual a nueve

TEORÍA

En arcilla saturada, en condiciones sin drenaje, la carga última neta, en la forma de Meyerhof, se obtiene con el **clásico coeficiente nueve**:

$$Q_p \approx N_c^* \, c_u \, A_p = 9 \, c_u \, A_p$$

c_u : cohesión sin drenaje del suelo situado bajo la punta del pilote

No requiere ningún otro dato de entrada; mientras el pilote sea profundo (bastan unos pocos diámetros), no depende de la profundidad.

La sencillez es su punto fuerte y también su punto débil: no tiene en cuenta la rigidez de la arcilla.

La resistencia por punta es pequeña en comparación con la del fuste, por lo que influye muy poco en la capacidad total; por ello un valor sencillo suele ser suficiente.

Enunciado

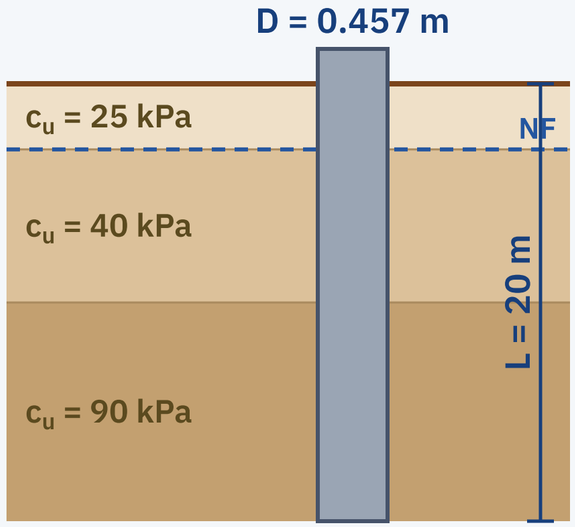
EJEMPLO

Datos

Pilote	**pilote tubular, hincado**
Diámetro	**D = 0.457 m**
Longitud	**L = 20 m**
Arcilla bajo la punta	$c_u = 90\ \mathrm{kPa}$

SE PIDE

Determinar la **resistencia por punta** Q_p del pilote por el método de **Meyerhof**.



Solución

SOLUCIÓN

1 Área de la punta del pilote

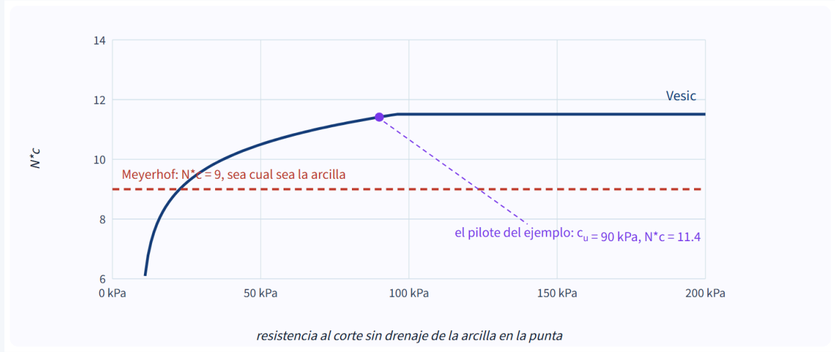
$$A_p = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (0.457)^2}{4} = \mathbf{0.1640}\ \mathrm{m^2}$$

2 Resistencia unitaria por punta (N*c = 9)

$$q_p = 9\, c_u = 9(90) = \mathbf{810}\ \mathrm{kPa}$$

3 Resistencia por punta

$$Q_p = A_p\, q_p = 0.1640(810) = \mathbf{132.9}\ \mathrm{kN}$$



El método no requirió ningún otro dato: solo c_u bajo la punta. Q_p = **132.9 kN**.

Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Vesic: la rigidez interviene en N*c

TEORÍA

Vesic, a partir de la teoría de **expansión de cavidades**: el coeficiente para el caso φ = 0 se deduce del índice de rigidez reducido de la arcilla. En arcilla saturada el cambio de volumen en la zona plástica es nulo; la reducción desaparece y resulta $\mathbf{I_{rr} = I_r}$:

$$N_c^* = \frac{4}{3}\left(\ln I_{rr} + 1\right) + \frac{\pi}{2} + 1 \qquad I_r = \frac{E_s}{3\,c_u}$$

ÚNICO DATO DE ENTRADA: c_u bajo la punta

O'Neill y Reese (1999): $I_r \approx 50$ ($c_u/p_a = 0.24$), 150 (0.48), 250 – 300 (≥ 0.96). El módulo lo aproxima de la siguiente manera:

$$I_r = 347\,\frac{c_u}{p_a} - 33 \;\leq\; 300$$

RELACIÓN N^*_c — I_{rr}

I_{rr}	N^*_c
10	6.97
20	7.90
40	8.82
60	9.36
80	9.75
100	10.04
200	10.97
300	11.51

Al aumentar I_{rr}, el coeficiente crece lentamente: logaritmo

Enunciado

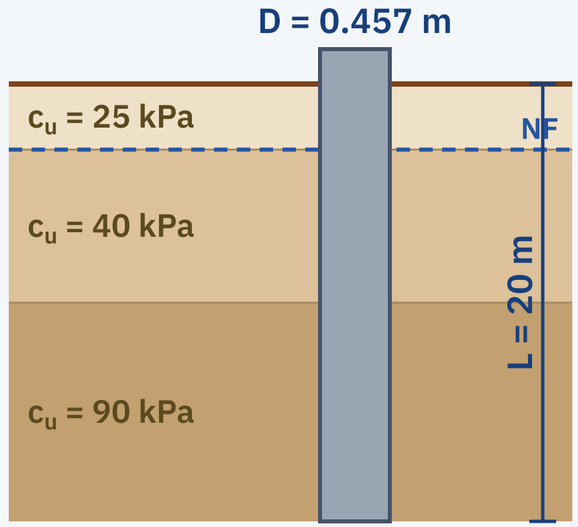
EJEMPLO

Datos

Pilote	**Igual que en el Ejemplo 2: D = 0.457 m, L = 20 m**
Arcilla bajo la punta	$c_u = 90\ \text{kPa}$
Presión atmosférica	$p_a = 100\ \text{kPa}$

SE PIDE

Hallar la **resistencia por punta** Q_p del pilote por el método de **Vesic (1977)** y compararla con la de Meyerhof.



Solución (1/2)

SOLUCIÓN

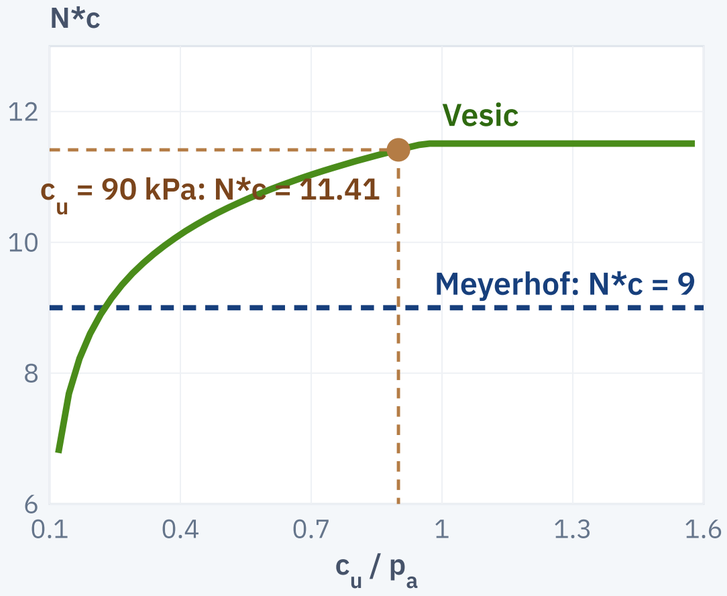
1 Índice de rigidez ($I_{rr} = I_r$, porque en arcilla no hay cambio de volumen)

$$I_{rr} = I_r = 347\,\frac{90}{100} - 33 = \mathbf{279.3} \quad (\leq 300)$$

2 Factor N*c

$$N_c^* = \frac{4}{3}\,(\ln 279.3 + 1) + \frac{\pi}{2} + 1 = \mathbf{11.41}$$

La curva verde del gráfico es el coeficiente de Vesic: para c_u = 90 kPa, **N^*_c = 11.41**, aproximadamente un 27% más que el 9 de Meyerhof.



Solución (2/2)

SOLUCIÓN

3 Resistencia unitaria por punta

$$q_p = c_u\, N_c^* = 90(11.41) = \mathbf{1{,}027}\ \mathrm{kPa}$$

4 Resistencia por punta

$$Q_p = A_p\, q_p = 0.1640(1{,}027) = \mathbf{168.5}\ \mathrm{kN}$$

Meyerhof: 132.9 kN, **Vesic: 168.5 kN**; la diferencia es de aproximadamente el 27%. Como la punta es una parte pequeña del total, esta diferencia modifica muy poco la capacidad total.

Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Resistencia por fuste: donde se determina sobre todo la capacidad

TEORÍA

En arcilla, la resistencia por fuste es la suma de la fricción unitaria a lo largo de la superficie del fuste:

$$Q_s = \sum f\, p\, \Delta L$$

Muchas de las variables que determinan el rozamiento unitario no pueden medirse fácilmente; por ello existen **tres enfoques**:

Método α: el rozamiento se obtiene únicamente de la **resistencia sin drenaje** (tensión total, corto plazo)

Método λ: combinación de la **tensión efectiva media** a lo largo de la longitud con la resistencia media; un único coeficiente para todo el pilote

Método β: **tensión efectiva** y ángulo de rozamiento remoldeado (drenado, largo plazo)

En el pilote de ejemplo, el fuste aporta aproximadamente **nueve décimas** del total; la incertidumbre también reside ahí.

α: una fracción de la resistencia

TEORÍA

La fricción unitaria es la resistencia sin drenaje multiplicada por un **factor de adhesión empírico α**:

$$f = \alpha\, c_u \qquad Q_s = \sum \alpha\, c_u\, p\, \Delta L$$

α : factor de adherencia; **disminuye** al aumentar la resistencia de la arcilla (una arcilla más resistente moviliza una fracción menor de su resistencia)

De hecho, α es función de la **tensión efectiva** además de c_u (recomendaciones de Sladen, Randolph–Murphy/API y NGI-99)

> Este módulo interpola la **tabla (c_u/p_a – α)** representada al lado; el valor de α del estrato también puede introducirse manualmente.

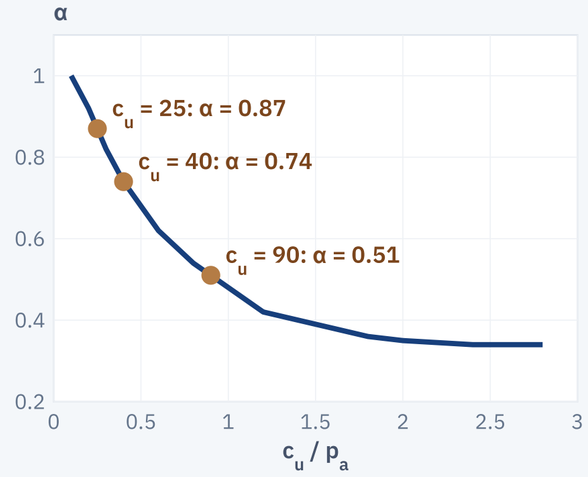


TABLA DE α (RESUMEN)

c_u / p_a	α

Enunciado

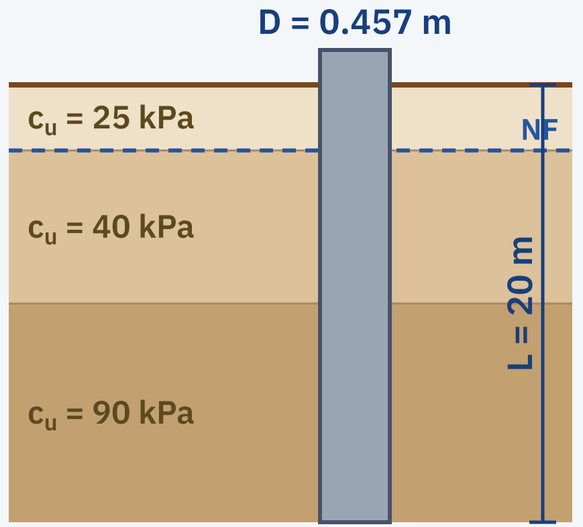
EJEMPLO

Datos

Arcilla 1 (0–3 m)	$c_u = 25\ \text{kPa},\ \gamma = 16\ \text{kN/m}^3$
Arcilla 2 (3–10 m)	$c_u = 40\ \text{kPa},\ \gamma = 17\ \text{kN/m}^3$
Arcilla 3 (10–20 m)	$c_u = 90\ \text{kPa},\ \gamma = 18\ \text{kN/m}^3$
Nivel freático (NF)	**a 3.0 m de profundidad**
Pilote	**pilote tubular, D = 0.457 m, L = 20 m**
Perímetro	$p = \pi D = \pi(0.457) = 1.436\ \text{m}$

SE PIDE

Determinar la **resistencia por fuste** Q_s del pilote mediante el **método α**. (α por interpolación lineal de la tabla; p_a = 100 kPa)



Solución

SOLUCIÓN

1 Valores de α: de la tabla para c_u/p_a = 0.25; 0.40; 0.90

$$\alpha_1 = 0.87,\ \alpha_2 = 0.74,\ \alpha_3 = 0.51$$

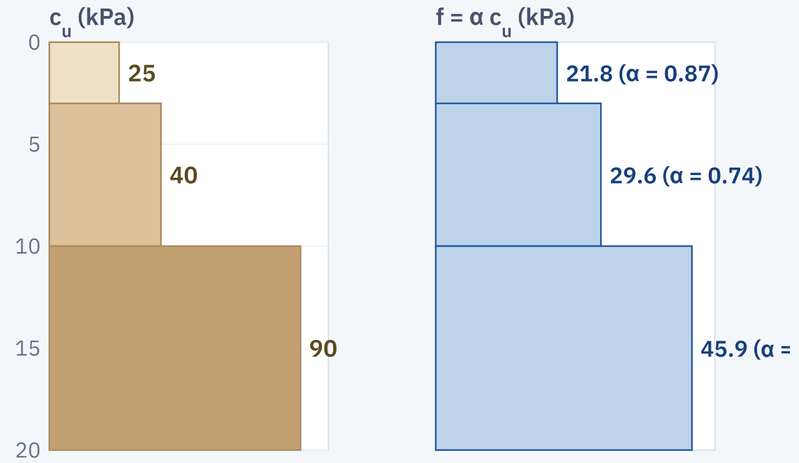
2 Fricción unitaria en cada estrato f = α c_u

$$f_1 = 21.8\ ,\ f_2 = 29.6\ ,\ f_3 = 45.9\ \text{kPa}$$

3 Q_s = p Σ f H

$$Q_s = 1.436\,[21.8(3) + 29.6(7) + 45.9(10)] = \mathbf{1{,}050}\ \text{kN}$$

Contribuciones: 94 + 297 + 659 = **1,050 kN**. La arcilla más resistente da el mayor f, pero con una fracción menor de c_u (α = 0.51).



Comprobar la solución en GeoTerva ↗

λ: un único valor medio para toda la longitud

TEORÍA

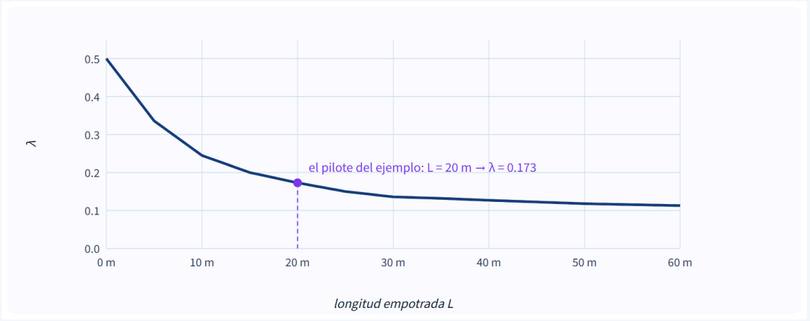
Vijayvergiya y Focht (1972): el **terreno desplazado** por el pilote genera a cada profundidad una presión lateral pasiva, y de ella se deduce el rozamiento unitario medio:

$$f_{av} = \lambda \left(\bar{\sigma}'_o + 2\,\bar{c}_u \right) \qquad Q_s = p\,L\,f_{av}$$

$\bar{\sigma}'_o$: **tensión vertical efectiva media** a lo largo de la longitud enterrada (área del diagrama de σ′ / L)

$\bar{c}_u$: resistencia sin drenaje media, **ponderada por el espesor**: $(c_{u1}L_1 + c_{u2}L_2 + \ldots)/L$

λ : coeficiente que depende de la **longitud** del pilote (al lado)



λ — LONGITUD DE EMPOTRAMIENTO

L (m)	λ
0	0.500
5	0.336
10	0.245
15	0.200
20	0.173
30	0.136
40	0.127

Enunciado

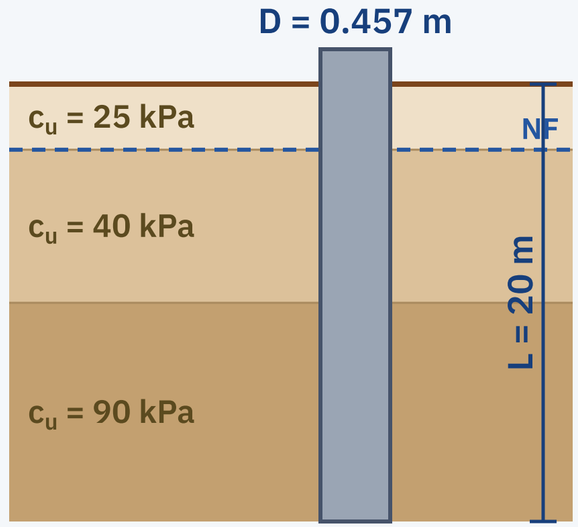
EJEMPLO

Datos

Arcilla 1 (0–3 m)	$c_u = 25\ \text{kPa},\ \gamma = 16\ \text{kN/m}^3$
Arcilla 2 (3–10 m)	$c_u = 40\ \text{kPa},\ \gamma = 17\ \text{kN/m}^3$
Arcilla 3 (10–20 m)	$c_u = 90\ \text{kPa},\ \gamma = 18\ \text{kN/m}^3$
Nivel freático (NF)	**a 3.0 m de profundidad**
Pilote	**pilote tubular, D = 0.457 m, L = 20 m**
Tensión efectiva media	$\bar{\sigma}'_o = 98.85\ \text{kPa}$ **(Ejemplo 1)**

SE PIDE

Calcular con el **método λ** la **resistencia por fuste** Q_s del pilote.



Solución

SOLUCIÓN

1 Resistencia media (ponderada por el espesor)

$$\bar{c}_u = \frac{25(3) + 40(7) + 90(10)}{20} = \mathbf{62.75}\ \text{kPa}$$

2 λ (L = 20 m, según la tabla) y fricción unitaria media

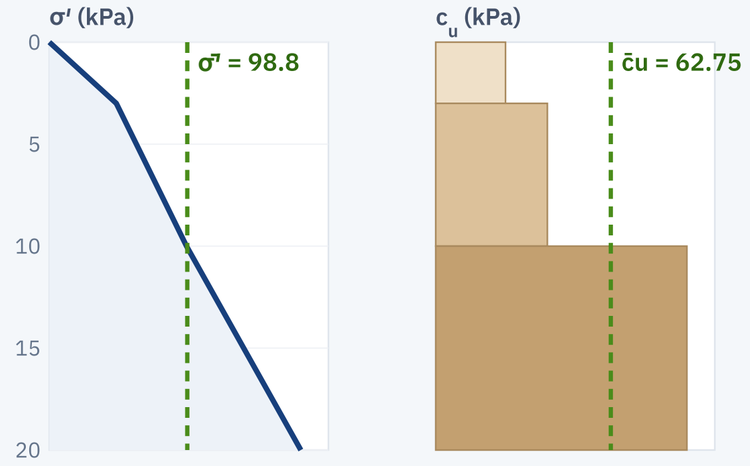
$$\lambda = 0.173$$

$$f_{av} = \lambda(\bar{\sigma}'_o + 2\bar{c}_u) = 0.173\,(98.85 + 2(62.75)) = \mathbf{38.81}\ \text{kPa}$$

3 Resistencia por fuste

$$Q_s = p\,L\,f_{av} = 1.436(20)(38.81) = \mathbf{1{,}114}\ \text{kN}$$

El método λ combina las dos medias: **1,114 kN**. En el gráfico, el área de la izquierda es σ'o y la línea de la derecha es c̄u.



Comprobar la solución en GeoTerva ↗

β: tensión efectiva y corteza remoldeada

TEORÍA

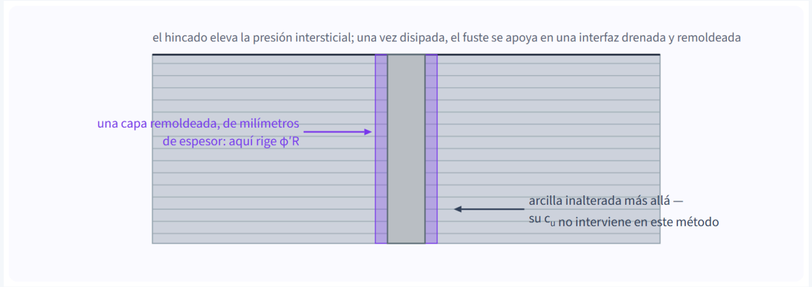
Enfoque de tensiones efectivas de Burland (con la corrección de sobreconsolidación de Meyerhof): no considera en absoluto la resistencia sin drenaje; se parte de la **tensión efectiva vertical** y del ángulo de fricción drenado de la arcilla **remoldeada** (c′ = 0):

$$f = \beta\,\sigma'(z) \qquad \beta = K\tan\delta,\quad \delta = \varphi'_R$$

$$\beta = (1-\sin\varphi'_R)\tan\varphi'_R\sqrt{OCR}$$

K : coeficiente de empuje lateral; se toma, del lado de la seguridad, **en reposo**, y para arcilla sobreconsolidada aumenta con √OCR

Para OCR = 1 la expresión se reduce por sí misma a la forma normalmente consolidada



φ′R y OCR se **introducen**, no se obtienen del terreno mediante una correlación (en el módulo se abre con φ′R de 30° y OCR 1).

f, junto con σ′(z), **aumenta con la profundidad** dentro del estrato; en el límite donde cambia β presenta un escalón.

Enunciado

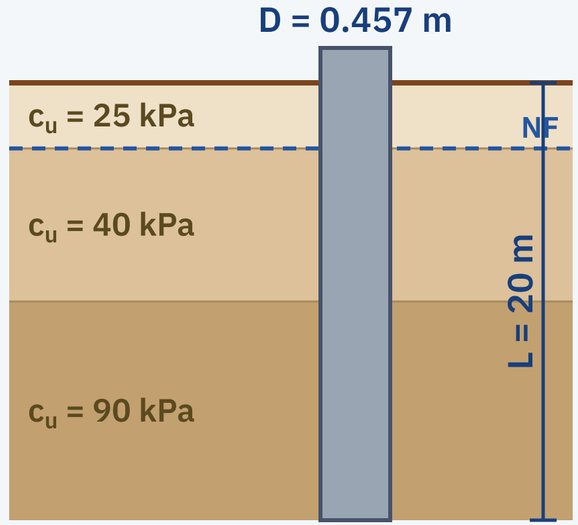
EJEMPLO

Datos

Arcilla 1 (0–3 m)	$c_u = 25\ \text{kPa},\ \gamma = 16\ \text{kN/m}^3$
Arcilla 2 (3–10 m)	$c_u = 40\ \text{kPa},\ \gamma = 17\ \text{kN/m}^3$
Arcilla 3 (10–20 m)	$c_u = 90\ \text{kPa},\ \gamma = 18\ \text{kN/m}^3$
Nivel freático (NF)	**a 3.0 m de profundidad**
Ángulo de fricción remoldeado	$\varphi'_R = 30^\circ$ **(tres estratos)**
Razón de sobreconsolidación	$OCR = 1;\ 1;\ 2$ **(estrato 3 sobreconsolidado)**
Pilote	**D = 0.457 m, L = 20 m**

SE PIDE

Determinar la **resistencia por fuste** Q_s del pilote mediante el **método β**. (Los valores medios de σ′ de cada estrato se toman de las áreas del Ejemplo 1.)



Solución (1/2)

SOLUCIÓN

1 Coeficientes β

$$\beta_{1,2} = (1 - \sin 30^\circ)\tan 30^\circ = \mathbf{0.289} \qquad \beta_3 = 0.289\sqrt{2} = \mathbf{0.408}$$

2 Tensiones efectivas medias del estrato (área / espesor)

$$\bar{\sigma}'_1 = \frac{72}{3} = 24.0, \quad \bar{\sigma}'_2 = \frac{512.2}{7} = 73.2, \quad \bar{\sigma}'_3 = \frac{1{,}392.8}{10} = 139.3\ \text{kPa}$$

Solución (2/2)

SOLUCIÓN

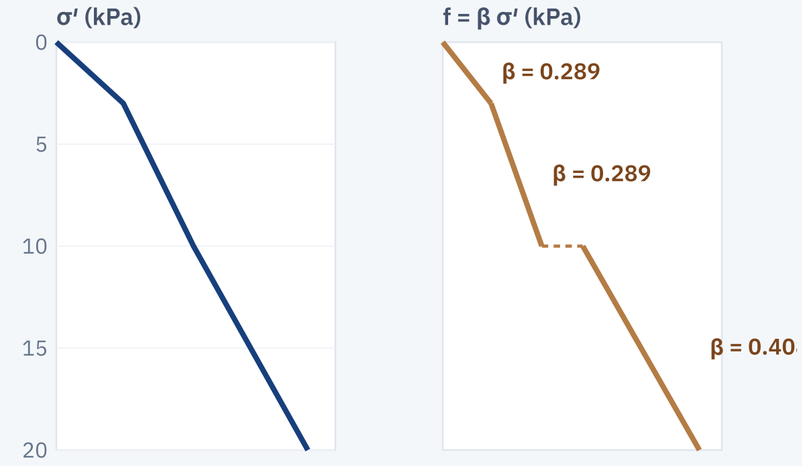
3 Fricción unitaria media por fuste de los estratos $\bar{f} = \beta\,\bar{\sigma}'$

$$\bar{f}_1 = 6.93, \quad \bar{f}_2 = 21.12, \quad \bar{f}_3 = 56.86\ \text{kPa}$$

4 Resistencia por fuste $Q_s = p\,\Sigma\,\bar{f}\,H$

$$Q_s = 1.436\,[6.93(3) + 21.12(7) + 56.86(10)] = \mathbf{1{,}058}\ \text{kN}$$

La media es la **integral real** de la tensión en el estrato (no el promedio de los dos extremos): si el nivel freático corta el estrato, ambos pueden diferir en más del 10 %. El resultado es **1,058 kN**.



Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Tres enfoques, el mismo pilote

TEORÍA



En este perfil, los tres están a **pocos puntos porcentuales** unos de otros. Pero **en principio** no coinciden; la concordancia es una particularidad de este perfil.

En un pilote muy **largo**, λ disminuye debido a su coeficiente

En arcilla **sobreconsolidada**, β aumenta con √OCR

En arcilla **blanda** normalmente consolidada, α aumenta hacia la resistencia total del suelo

Una lectura honesta: en arcilla la resistencia por fuste se conoce, por cálculo, con una incertidumbre de **aproximadamente un quinto**. En obras grandes, por ello, el **ensayo de carga** compensa su coste.

Los pilotes perforados tienen sus propias reglas

TEORÍA

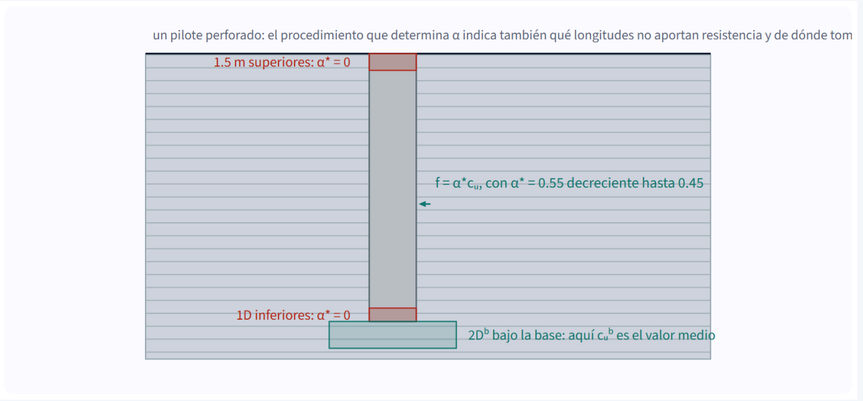
Se perfora el hueco y se hormigona: el suelo no se desplaza; la arcilla de la pared de la perforación absorbe agua y se **ablanda**, bajo la base se acumulan detritos, y para desarrollar la resistencia de la base se requiere un **asentamiento mayor**. El procedimiento de O'Neill y Reese modifica ambas mitades.

$$\alpha^* = 0 \;\; (\text{superior } 1.5\text{ m y por debajo } 1D) \qquad \alpha^* = 0.55 \;\; (\text{en el resto})$$

α* = 0.55 ($c_u/p_a \le 1.5$), que desciende hasta 0.45 para 2.5

Los 1.5 m superiores son el terreno más alterado y el más propenso a retraerse del fuste; el diámetro inferior es la longitud en la que la base ya pone en movimiento el terreno

Los espesores de los estratos no cambian: la profundidad y σ′ se mantienen como en el perfil; solo varía la longitud que aporta rozamiento



$$q_p = \min\left[6c_{ub}\left(1 + 0.2\frac{L}{D_b}\right),\ 9c_{ub},\ 40p_a\right]$$

c_{ub}: c_u medio en la zona de **$2D_b$** bajo la base. Si $D_b >$ 1.91 m, q_p se reduce con un factor $F_r \le 1$.

Enunciado

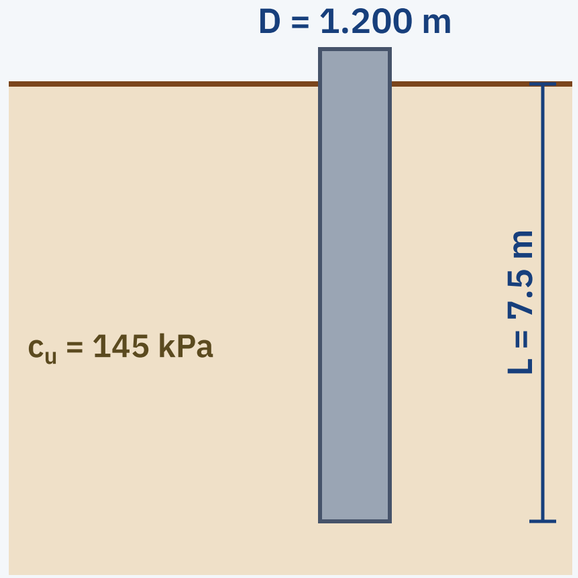
EJEMPLO

Datos

Pilote	**pilote perforado, sección circular**
Diámetro y longitud	**$D = D_b = 1.2$ m, $L = 7.5$ m**
Arcilla (homogénea)	$c_u = 145\ \mathrm{kPa}$, $\gamma = 18\ \mathrm{kN/m^3}$
Agua subterránea	**ninguno**
Factor de seguridad	**FS = 3**

SE PIDE

Determinar la **resistencia por punta**, la **resistencia por fuste** y la **capacidad portante admisible** del pilote perforado.



Solución (1/2)

SOLUCIÓN

1 Resistencia media en la zona de $2D_b$ por debajo de la base y expresión de la base

$$c_{ub} = 145\ \text{kPa} \qquad 6c_{ub}\left(1 + 0.2\frac{7.5}{1.2}\right) = 1{,}957.5\ ; \quad 9c_{ub} = 1{,}305\ ; \quad 40p_a = 4\,000$$

2 q_p = el menor de los tres; como $D_b = 1.2\ \text{m} \le 1.91\ \text{m}$, $F_r = 1$

$$q_p = \min(1{,}957.5;\ 1{,}305;\ 4\,000) = \mathbf{1{,}305}\ \text{kPa}$$

3 Área de la base y resistencia por punta

$$A_b = \frac{\pi(1.2)^2}{4} = 1.131\ \text{m}^2 \qquad Q_p = A_b\, q_p = \mathbf{1{,}476}\ \text{kN}$$

Rige $9c_{ub}$: la fórmula $6c_{ub}(1 + 0.2L/D_b)$ resultó mayor, pero entró en juego el límite superior de $9c_u$. Q_p = **1,476 kN**.

Solución (2/2)

SOLUCIÓN

4 α* y la longitud que aporta fricción (se desprecian 1.5 m en la parte superior y 1D en la inferior)

$$\alpha^* = 0.55 \quad (c_u/p_a = 1.45 \leq 1.5)$$

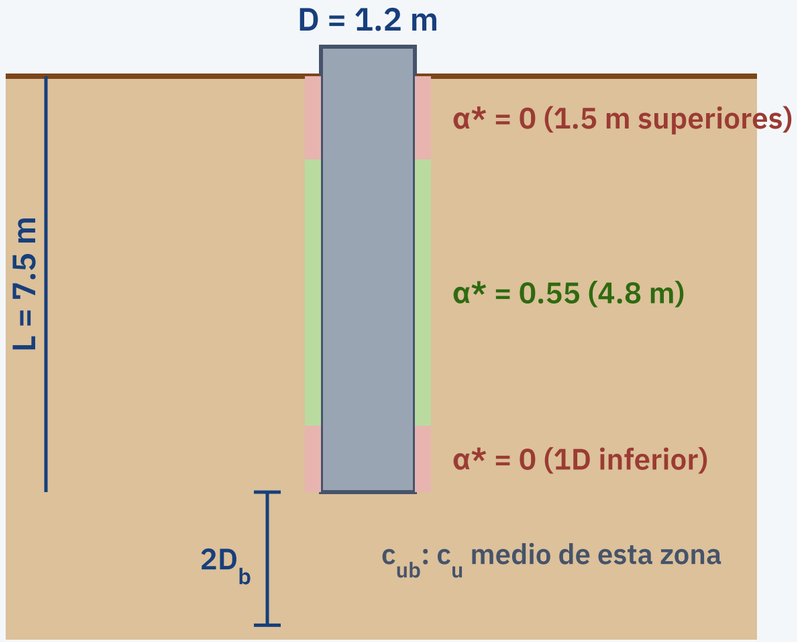
$$L_{eff} = 7.5 - 1.5 - 1.2 = \mathbf{4.8}\ \text{m}$$

5 Resistencia por fuste

$$Q_s = \pi D\, \alpha^* c_u\, L_{eff} = \pi(1.2)(0.55)(145)(4.8) = \mathbf{1{,}443}\ \text{kN}$$

6 Capacidad portante última y admisible

$$Q_u = 1{,}476 + 1{,}443 = 2{,}919\ \text{kN} \qquad Q_{all} = \frac{Q_u}{3} = \mathbf{973}\ \text{kN}$$



Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Total con un único factor de seguridad

TEORÍA

La capacidad última es la suma de las dos componentes; la capacidad admisible se obtiene aplicando **un único factor de seguridad a la suma completa**:

$$Q_{all} = \frac{Q_p + Q_s}{FS}$$

FS = 2.5 – 4 habitual para un pilote aislado

Extremo superior: cuando el terreno se conoce solo por unos pocos sondeos, cuando la arcilla es **firme y fisurada** o cuando **no se prevé un ensayo de carga**

Los métodos de punta y de fuste pueden elegirse **de forma independiente**; los resultados se interpretan conjuntamente

Enunciado

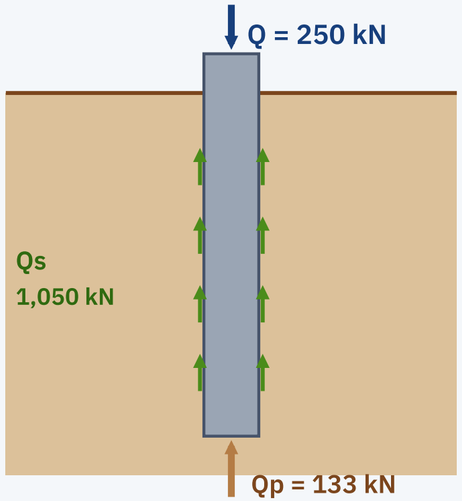
EJEMPLO

Datos

Resistencia por punta	**Q_p = 132.9 kN (Meyerhof, Ejemplo 2)**
Resistencia por fuste	**Q_s = 1,050 kN (método α, Ejemplo 4)**
Factor de seguridad	**FS = 4**
Carga de trabajo sobre el pilote	**Q = 250 kN**

SE PIDE

¿Cuál es la **carga admisible** Q_{all} del pilote? ¿Es **suficiente** la carga de trabajo?



Solución

SOLUCIÓN

1 Capacidad portante última

$$Q_u = Q_p + Q_s = 132.9 + 1{,}050.1 = \mathbf{1{,}183}\ \text{kN}$$

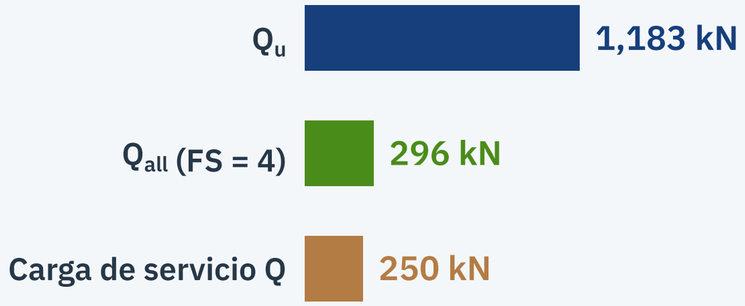
2 Capacidad portante admisible

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{FS} = \frac{1{,}183}{4} = \mathbf{296}\ \text{kN}$$

3 Comprobación

$$Q = 250\ \text{kN} \ \leq \ Q_{all} = 296\ \text{kN} \ \Rightarrow \ \text{suficiente}$$

Relación de utilización Q / Q_{all} = 250 / 296 = **0.85**. El fuste soporta aproximadamente el 89 % del total.



Comprobar la solución en GeoTerva ↗

El mismo pilote: Q_u y Q_{all} (FS = 4)

TEORÍA

Q_u · Q_{all} (kN)

	Q_s: α 1,050 kN	Q_s: λ 1,114 kN	Q_s: β 1,058 kN
Q_p: Meyerhof 132.9 kN	1,183 · **296**	1,247 · **312**	1,191 · **298**
Q_p: Vesic 168.5 kN	1,219 · **305**	1,283 · **321**	1,227 · **307**

En las seis combinaciones, Q_u varía solo entre **1,183 – 1,283 kN**: como la punta es pequeña, la elección apenas afecta al total; la diferencia real está en la resistencia por fuste.

Interpretar el intervalo; no fiarse de un solo valor

La resistencia por fuste representa **aproximadamente nueve décimas** del total

En obras importantes, verificar con un **ensayo de carga de pilote**

Resumen

Puntos clave

La arcilla se comporta **sin drenaje** ($\varphi = 0$, $\tau_f = c_u$); la resistencia no es proporcional a la tensión efectiva

Punta: Meyerhof $N^*_c = 9$; Vesic $N^*_c = f(I_{rr})$, $I_r \approx 347c_u/p_a - 33$; la punta es una parte pequeña del total

α: $f = \alpha c_u$ · **λ**: $f_{av} = \lambda(\bar{\sigma} + 2\bar{c}_u)$ · **β**: $f = \beta\sigma'$, $\beta = (1 - \sin\varphi'_R)\tan\varphi'_R\sqrt{OCR}$

Pilote perforado: $\alpha^* = 0$ (1.5 m superiores, 1D inferior), $q_p = \min[6c_{ub}(1 + 0.2L/D_b), 9c_{ub}, 40p_a]$

$Q_{all} = (Q_p + Q_s)/FS$, $FS = 2.5 - 4$

Referencias bibliográficas

Das, B.M. (2016). Principles of Foundation Engineering, 8th ed. Cengage Learning; esta página se basa en esta obra.

Terzaghi, K., Peck, R.B. and Mesri, G. (1996). Soil Mechanics in Engineering Practice, 3rd ed. Wiley — valores de α de la Tabla 2.

O'Neill, M.W. and Reese, L.C. (1999). Drilled Shafts: Construction Procedures and Design Methods. FHWA-IF-99-025 — el factor α del pilote perforado y el índice de rigidez de una arcilla.

Reese, L.C. and O'Neill, M.W. (1989). Drilled Shafts: Construction Procedures and Design Methods. FHWA — la expresión de la resistencia por punta de un pilote perforado en arcilla.

Burland, J.B. (1973). Shaft friction of piles in clay — a simple fundamental approach. Ground Engineering, 6(3), 30–42.

Meyerhof, G.G. (1976). Bearing capacity and settlement of pile foundations. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 102(GT3), 197–228 — el ajuste √OCR del método β.

Vijayvergiya, V.N. and Focht, J.A. (1972). A new way to predict the capacity of piles in clay. Offshore Technology Conference, Paper 1718, Houston.

Vesic, A.S. (1977). Design of Pile Foundations. NCHRP Synthesis of Highway Practice 42, Transportation Research Board.

NOTA

Las figuras de esta presentación proceden de la página de teoría de GeoTerva; todos los ejemplos numéricos se han obtenido con la propia biblioteca de cálculo del módulo, y el módulo da los mismos valores.

GeoTerva

Cálculos geotécnicos en línea

De la teoría a la práctica

Calcular paso a paso en GeoTerva el pilote de ejemplo de esta presentación: los números son los mismos.

Abrir el módulo →

Página de teoría →

Abrir en el teléfono
Los módulos de prueba no requieren registro.

Si desea utilizarlas en sus clases: info@geoterva.com