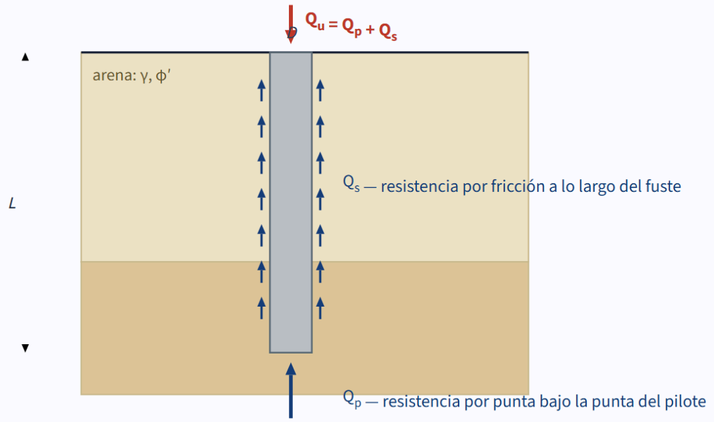
Presentación de clase de geotecnia · Pilotes

Capacidad portante de pilotes en arena

Clase: resistencia por punta, resistencia por fuste y profundidad crítica. La teoría de cada método, seguida de un ejemplo resuelto.

Meyerhof (1976) · Vesic (1977) · Coyle y Castello (1981) · Ejemplos resueltos



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

Introducción

¿Qué aprenderemos en esta clase?

Saber explicar cómo un pilote transmite su carga mediante la **resistencia por punta** y la **resistencia por fuste**

Poder construir el perfil de **tensión efectiva** en arena, incluido el nivel del agua

Poder calcular la resistencia por punta con tres métodos: **Meyerhof**, **Vesic**, **Coyle y Castello**

Poder interpretar la resistencia por fuste y el papel de la **profundidad crítica** (L′)

Llegar a la **capacidad portante admisible** y poder valorar conjuntamente los resultados de los métodos

DESARROLLO DE LA CLASE

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

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

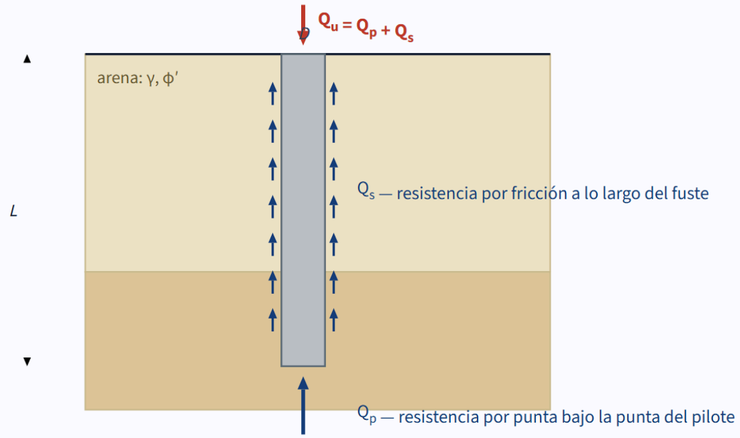
2 · **Enunciado**: datos y se pide

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

Todos los ejemplos se resuelven con el mismo pilote: así los métodos se comparan lado a lado.

La carga se transmite por dos vías

TEORÍA



El pilote transmite su carga al terreno **por dos vías a la vez**: el terreno situado bajo la punta resiste con la **resistencia por punta** (Q_p), y la arena a lo largo del fuste con la **resistencia por fuste** (Q_s).

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

La resistencia por fuste alcanza su valor total con un desplazamiento **pequeño**, mientras que la resistencia por punta lo hace con uno **mucho mayor**; ambas componentes no alcanzan su máximo a la vez.

En esta clase: **pilote aislado**, **arena** ($c' = 0$), hincado o perforado, de sección constante.

En la arena, todo es proporcional a la tensión efectiva

TEORÍA

En arena, tanto la **resistencia por punta** como la **fricción unitaria por fuste** son proporcionales a la tensión vertical efectiva. El cálculo comienza con la correcta determinación de los valores de σ'_v en el perfil.

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

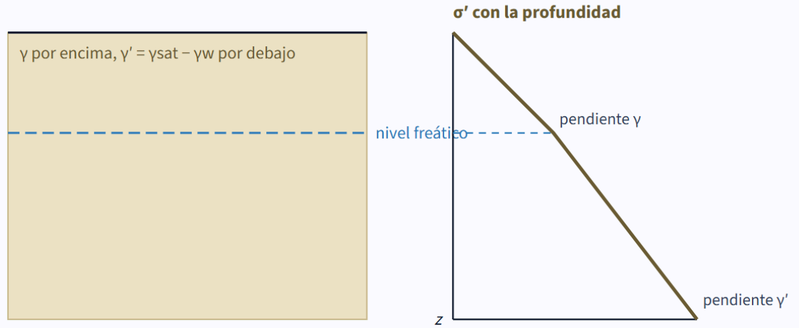
γ : peso específico húmedo (por encima del NF)

γ_{sat} : peso específico saturado (por debajo del NF)

$\gamma_w = 9.81$ kN/m³ : peso específico del agua

NF: nivel freático

> Por debajo del nivel freático la pendiente del perfil de tensiones **disminuye**: $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$



Enunciado

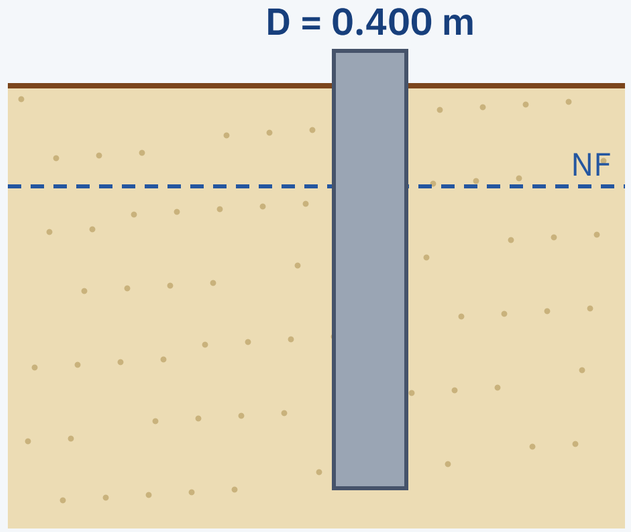
EJEMPLO

Datos

Arena, sobre el nivel freático	$\gamma = 17\ \mathrm{kN/m^3}$
Arena, bajo el nivel freático	$\gamma_{sat} = 19.5\ \mathrm{kN/m^3}$
Profundidad del nivel freático	**2.0 m**
Peso específico del agua	$\gamma_w = 9.81\ \mathrm{kN/m^3}$

SE PIDE

Hallar la tensión vertical total, la presión intersticial y la **tensión vertical efectiva** a **8 m de profundidad**.



Solución

SOLUCIÓN

1 Tensión vertical total (peso específico húmedo por encima del nivel freático, saturado por debajo)

$$\sigma_v = 17(2) + 19.5(6) = 34 + 117 = \mathbf{151.0}\ \text{kPa}$$

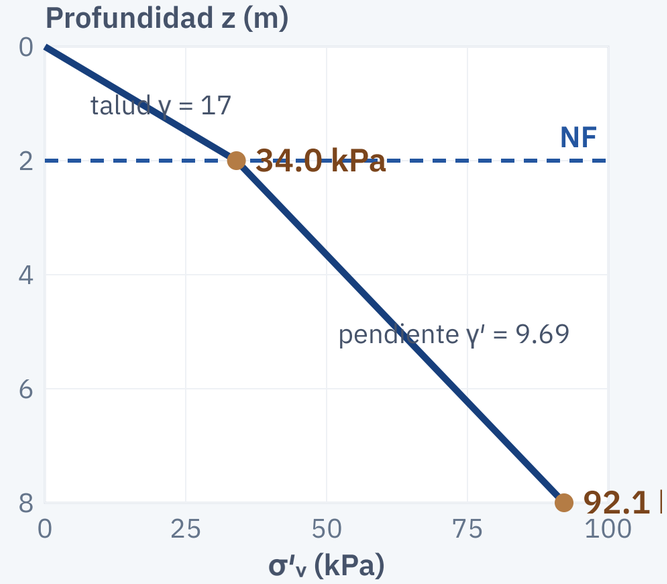
2 Presión intersticial (columna de agua de 6 m por debajo del nivel freático)

$$u = \gamma_w\, h_w = 9.81\,(6) = \mathbf{58.9}\ \text{kPa}$$

3 Tensión vertical efectiva

$$\sigma'_v = \sigma_v - u = 151.0 - 58.9 = \mathbf{92.1}\ \text{kPa}$$

Mismo resultado: σ′$_v$ = 17(2) + (19.5 – 9.81)(6) = **92.1 kPa**. Por debajo del nivel freático el peso específico efectivo es 9.69 kN/m³.



Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Resistencia por punta: expresión general

TEORÍA

La arena situada bajo la punta rompe por **hundimiento**, igual que bajo una cimentación; ahora bien, a la profundidad de la punta la **tensión vertical debida al peso del terreno** confina la arena con firmeza.

En arena c′ = 0, por lo que solo queda el término de profundidad (sobrecarga). Como el diámetro del pilote es pequeño, se desprecia el término de ancho ($0.5\gamma' D N_\gamma$):

$$q_p = \sigma'_v \, N_q^* \qquad Q_p = A_p \, q_p$$

σ'_v : tensión vertical efectiva a la profundidad de la punta

N^*_q : factor de capacidad portante del problema del pilote

A_p : área de la punta del pilote

¿DE DÓNDE PROCEDE N^*_q? TRES ENFOQUES

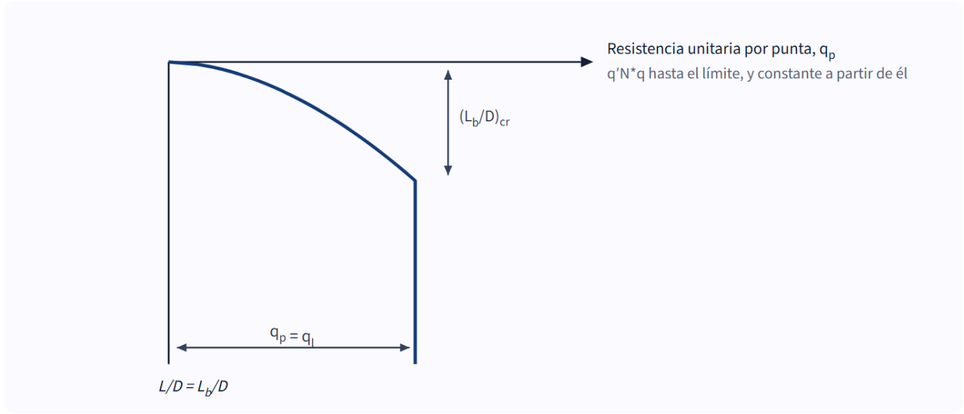
Meyerhof (1976): N^*_q depende solo de φ′; q_p se limita mediante un **valor límite**

Vesic (1977): teoría de expansión de cavidades; también interviene la **rigidez** de la arena

Coyle y Castello (1981): ajustado a 24 ensayos de carga a escala real; N^*_q depende también de L/D

La resistencia por punta no aumenta indefinidamente

TEORÍA



En arena homogénea, la resistencia unitaria por punta aumenta con la relación de empotramiento y alcanza su **valor máximo** en **$(L_b/D)_{cr}$**; a partir de ahí permanece constante (q_l).

VESIC (1970) · ENSAYO DE PILOTE DEL RÍO OGEECHEE (D = 0.457 m)

L (m)	L/D	q_p (kN/m²)
3.02	6.61	3 304
6.12	13.39	9 365
8.87	19.40	11 472
12.00	26.26	11 587
15.00	32.82	13 971

El mayor valor de q_p es de unos **12 000 kN/m²**

$(L/D)_{cr}$ aproximadamente **16 – 18**

Para un N_{60} medio ≈ 30, $4p_aN_{60} = 4(100)(30) = 12\,000$ kN/m²: **la correlación coincide con la meseta medida**

Meyerhof: N*q a partir de φ′, con un límite

TEORÍA

Meyerhof toma N^*_q solo del **ángulo de rozamiento interno** (su propio ábaco, a continuación). El valor calculado de q_p no puede superar un **valor límite**:

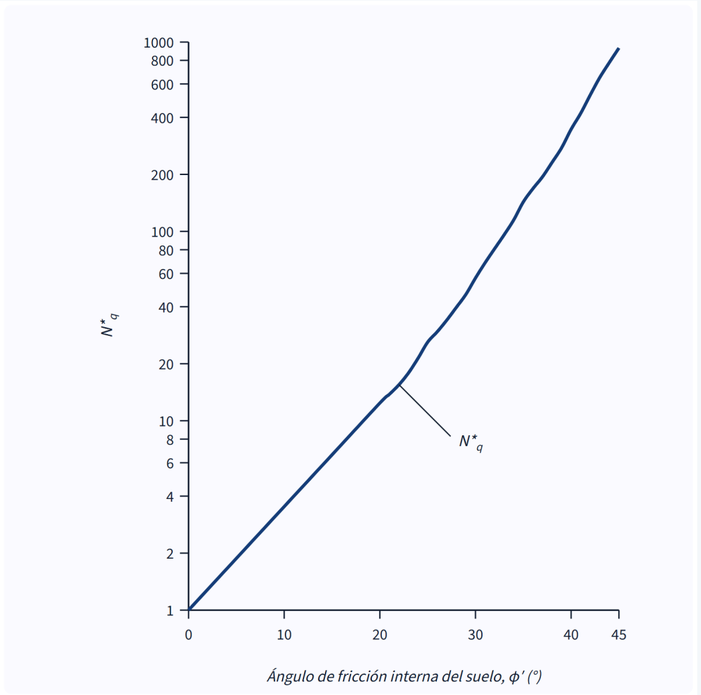
$$q_p = \sigma'_v N^*_q \leq q_l \qquad q_l = 0.5\, p_a\, N^*_q \tan\varphi'$$

p_a = 100 kN/m² : presión atmosférica

φ′ : ángulo de rozamiento interno efectivo de la arena a nivel de la punta

VALORES DE N^*_q (ÁBACO DE MEYERHOF; SERIE QUE LEE EL MÓDULO)

φ′ (°)	20	25	30	32	34	35	36	38	40	42	45
N^*_q	12.4	26.0	56.7	81.0	115.0	143.0	168.0	231.0	346.0	525.0	930.0



Para φ′ = 35°, N^*_q = 143.0 y q_l = 5,006 kPa; en arena con γ = 18 kN/m³ este límite se alcanza a una profundidad de unos **1.9 m**

Meyerhof: paso a paso y significado del límite

TEORÍA

PASOS DEL CÁLCULO

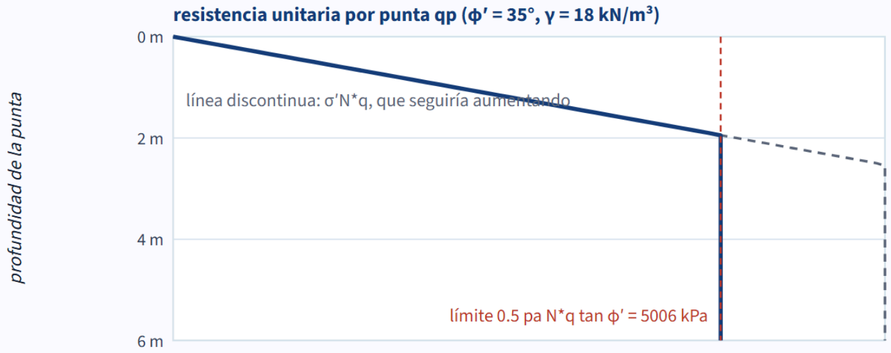
1. Calcular σ'_v a nivel de la punta

2. Leer el valor de N^*_q correspondiente a φ' en el ábaco o la tabla

3. $q_p = \sigma'_v N^*_q$

4. $q_l = 0.5\, p_a\, N^*_q \tan\varphi'$

5. $q_p = \min(\sigma'_v N^*_q, q_l)$ y $Q_p = A_p q_p$



La curva sigue la recta $\sigma' N^*_q$ **hasta que rige el valor límite**; después permanece horizontal. Sin el límite, q_p aumentaría indefinidamente con la profundidad, lo que los ensayos de campo no muestran.

Enunciado

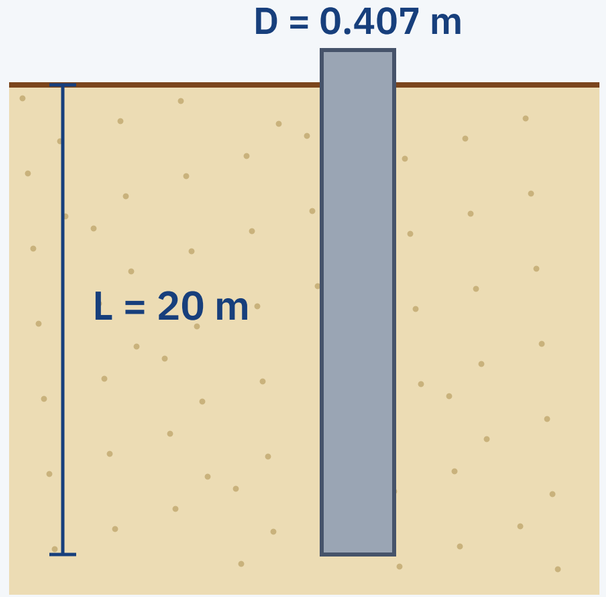
EJEMPLO

Datos

Pilote	**hormigón armado, hincado, de sección cuadrada**
Dimensión de la sección	**D = 0.407 m**
Longitud	**L = 20 m**
Arena (homogénea)	$\gamma = 18\ \mathrm{kN/m^3}$, $\varphi' = 35^\circ$
Agua subterránea	**ninguno**

SE PIDE

Determinar la **resistencia por punta** Q_p del pilote según el método de **Meyerhof (1976)**.



Solución

SOLUCIÓN

1 Área de la sección transversal y tensión efectiva en la punta

$$A_p = 0.407^2 = 0.1656\ \text{m}^2 \qquad \sigma'_v = \gamma L = 18(20) = 360\ \text{kPa}$$

2 Valor de N*q (φ′ = 35°, tabla de Meyerhof) y σ′N*q

$$N_q^* = 143.0 \qquad \sigma'_v N_q^* = 360(143.0) = 51{,}480\ \text{kPa}$$

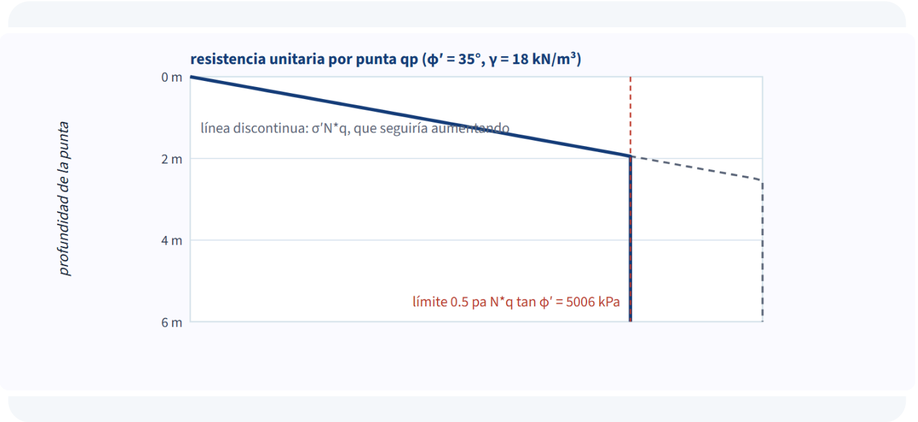
3 Valor límite

$$q_l = 0.5\, p_a N_q^* \tan\varphi' = 0.5(100)(143.0)\tan 35^\circ = 5{,}006\ \text{kPa}$$

4 Resistencia unitaria por punta: la menor de las dos; el límite es determinante

$$q_p = \min(51{,}480;\ 5{,}006) = \mathbf{5{,}006}\ \text{kPa}$$

$Q_p = A_p\, q_p = 0.1656 \times 5{,}006 =$ **829 kN**. Sin el límite resultaría aproximadamente 8,528 kN.



Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Vesic: la arena bajo la punta se expande como una cavidad

TEORÍA

Vesic deduce la resistencia por punta a partir de la **teoría de expansión de cavidades**: la punta expande una cavidad en el suelo circundante; por ello, en el resultado interviene no solo la **resistencia** de la arena, sino también su **rigidez**.

$$Q_p = A_p \, \bar{\sigma}'_o \, N^*_\sigma$$

Aquí $\bar{\sigma}'_o$ no es la tensión **vertical**, sino la **tensión normal efectiva media** a nivel de la punta:

$$\bar{\sigma}'_o = \frac{1 + 2K_o}{3} \, q' \qquad K_o = 1 - \sin\varphi'$$

K_o: coeficiente de empuje de tierras al reposo

q': tensión vertical efectiva a nivel de la punta ($= \sigma'_v$)

RELACIÓN CON MEYERHOF

$$N^*_\sigma = \frac{3 \, N^*_q}{1 + 2K_o}$$

La forma es la misma que la de Meyerhof; los dos métodos se diferencian en **de qué se deriva el coeficiente**, no en la forma de la ecuación.

Vesic: índice de rigidez reducido

TEORÍA

N^*_σ depende del **índice de rigidez reducido** I_{rr} de la arena y de φ'; I_{rr} tiene en cuenta además la variación de volumen en la zona plástica:

$$I_{rr} = \frac{I_r}{1 + I_r\,\Delta} \qquad I_r = \frac{E_s}{2(1+\mu_s)\,q'\tan\varphi'} = \frac{G_s}{q'\tan\varphi'}$$

E_S : módulo de elasticidad del terreno, μ_S : coeficiente de Poisson,

G_S : módulo de corte

Δ : deformación volumétrica media en la zona plástica bajo la punta

ENFOQUES PRÁCTICOS (CHEN Y KULHAWY, 1994; 25° ≤ φ′ ≤ 45°)

$$\frac{E_s}{p_a} = m \qquad \mu_s = 0.1 + 0.3\,\frac{\varphi' - 25}{20} \qquad \Delta = 0.005\left(1 - \frac{\varphi' - 25}{20}\right)$$

ÚNICO DATO DE ENTRADA: m = E_s / p_a

Arena	m
suelta	100 – 200
compacidad media	200 – 500
densa	500 – 1000

El índice de rigidez es, en general, **75 – 150** (arena con densidad relativa del 50 – 80 %)

Si se dispone de CPT: $I_r = 300/F_r(\%)$ (mecánico), $170/F_r(\%)$ (cono eléctrico)

Vesic: paso a paso

TEORÍA

PASOS DEL CÁLCULO

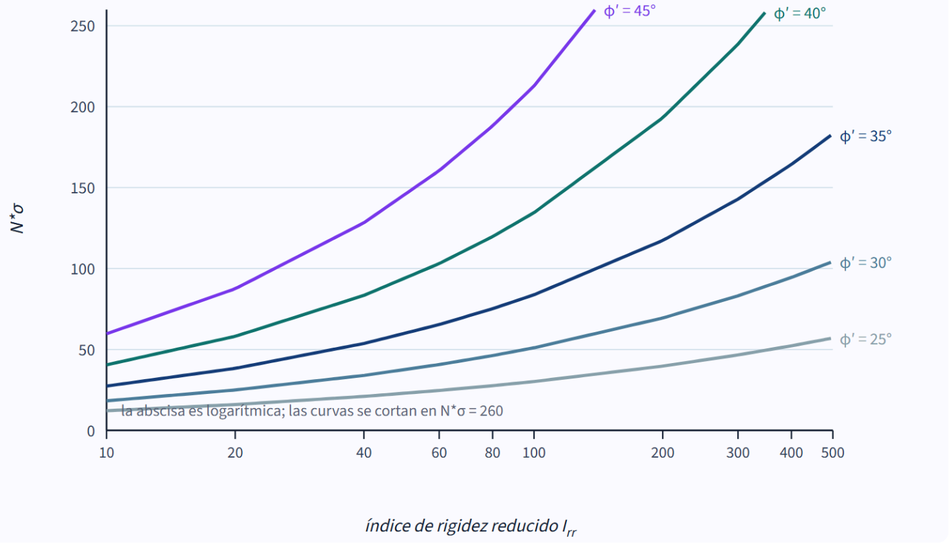
1. $K_o = 1 - \sin\varphi'$ y $\bar{\sigma}'_o = (1 + 2K_o)q'/3$

2. $E_s = m \cdot p_a$, μ_s, I_r

3. Δ e $I_{rr} = I_r/(1 + I_r\Delta)$

4. N^*_σ a partir de φ' e I_{rr} (de la tabla, interpolación logarítmica)

5. $q_p = \bar{\sigma}'_o N^*_\sigma$ y $Q_p = A_p q_p$



Una curva para cada φ': **N^*_σ aumenta con la rigidez**; una arena densa y rígida da una resistencia por punta mucho mayor que una arena suelta.

Enunciado

EJEMPLO

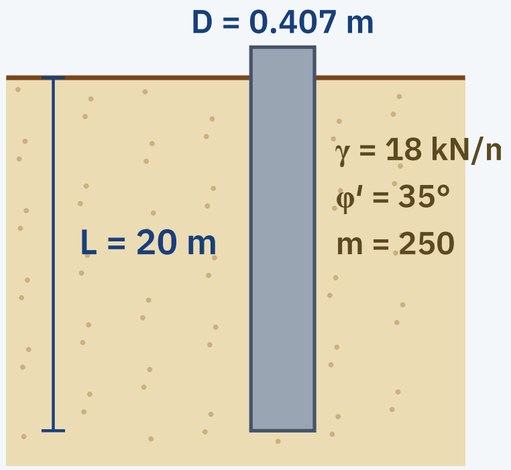
Datos

Pilote	**Igual que en el Ejemplo 2: D = 0.407 m, L = 20 m**
Arena	$\gamma = 18\ \mathrm{kN/m^3}$, $\varphi' = 35^\circ$
Agua subterránea	**ninguno**
Relación de módulos de elasticidad	$m = E_s/p_a = 250$ **(medianamente densa – densa)**
Presión atmosférica	$p_a = 100\ \mathrm{kPa}$

SE PIDE

Determinar la **resistencia por punta** Q_p del pilote según el método de **Vesic (1977)**.

Tensión efectiva en la punta: q′ = 18(20) = 360 kPa



Solución (1/3)

SOLUCIÓN

1 Coeficiente al reposo y tensión normal efectiva media

$$K_o = 1 - \sin 35^\circ = 0.426 \qquad \bar{\sigma}'_o = \frac{1 + 2(0.426)}{3}(360) = \mathbf{222.3}\ \text{kPa}$$

2 Propiedades del suelo

$$E_s = m\, p_a = 250(100) = 25{,}000\ \text{kPa} \quad \mu_s = 0.1 + 0.3\frac{35 - 25}{20} = 0.25$$

3 Índice de rigidez y deformación unitaria volumétrica

$$I_r = \frac{25{,}000}{2(1 + 0.25)(360)\tan 35^\circ} = \mathbf{39.7} \qquad \Delta = 0.005\left(1 - \frac{35 - 25}{20}\right)\frac{360}{100} = 0.0090$$

Solución (2/3)

SOLUCIÓN

4 Índice de rigidez reducido

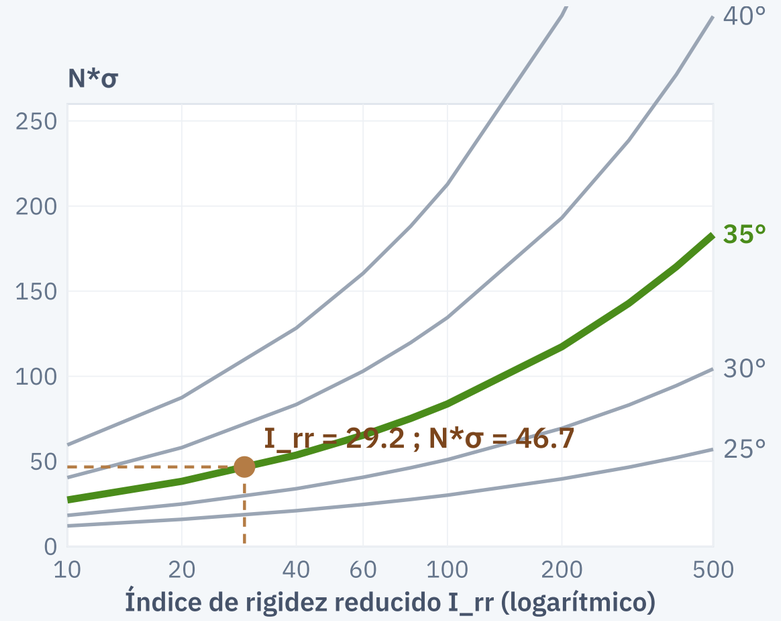
$$I_{rr} = \frac{I_r}{1 + I_r \Delta} = \frac{39.7}{1 + (39.7)(0.0090)} = \mathbf{29.2}$$

5 N*σ: en la tabla, fila φ′ = 35°, interpolación logarítmica entre 20 y 40 para I_{rr} = 29.2

$$N_\sigma^* = 38.32 + \frac{\log 29.2 - \log 20}{\log 40 - \log 20}(53.67 - 38.32)$$

$$= \mathbf{46.7}$$

En el gráfico, la curva verde φ′ = 35°: en su intersección con la línea vertical I_{rr} = 29.2, **$N^*_\sigma \approx 46.7$**.



Solución (3/3)

SOLUCIÓN

6 Resistencia unitaria por punta

$$q_p = \bar{\sigma}'_o N^*_\sigma = 222.3(46.7) = \mathbf{10{,}389}\ \text{kPa}$$

7 Resistencia por punta

$$Q_p = A_p\, q_p = 0.1656(10{,}389) = \mathbf{1{,}721}\ \text{kN}$$

Para el mismo pilote, **Meyerhof: 829 kN**, **Vesic: 1,721 kN**. Como Vesic tiene en cuenta la rigidez de la arena (m = 250), da aproximadamente 2.1 veces el valor limitado de Meyerhof.

Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Coyle y Castello: N*q empírico

TEORÍA

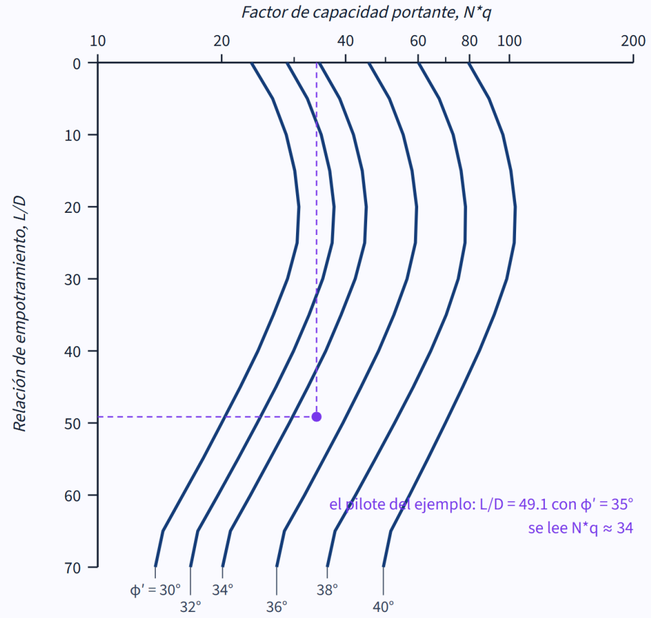
Coyle y Castello examinaron **24 ensayos de carga a gran escala en campo sobre pilotes hincados** y propusieron la siguiente relación para arena:

$$Q_p = q' \, N_q^* \, A_p$$

q′ es la tensión vertical efectiva en la punta; N^*_q depende, además de φ′, de la **relación de empotramiento L/D** (ábaco, al lado).

El coeficiente es **mucho menor** que el de Meyerhof: con φ′ = 35° y un pilote profundo, aproximadamente **34**, frente a **143** en Meyerhof. Esto se debe a que se ha ajustado a **capacidades medidas** y no a un mecanismo de rotura.

Cuando la relación de empotramiento supera aproximadamente 20, el coeficiente **disminuye**: un pilote más largo del mismo diámetro toma un N^*_q menor.



Enunciado

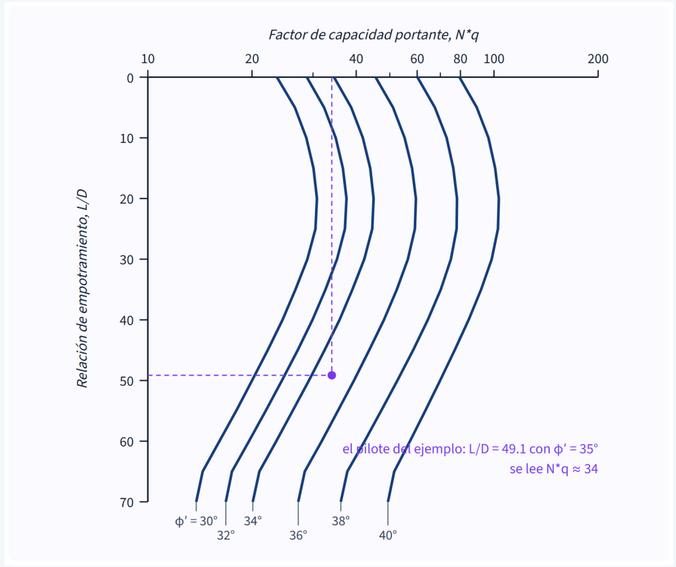
EJEMPLO

Datos

Pilote y arena	**Igual que en el Ejemplo 2: L = 20 m, D = 0.407 m, φ′ = 35°, γ = 18 kN/m³**
Relación de empotramiento	$L/D = 20/0.407 = 49.1$
Coeficiente leído en el ábaco	$N_q^* \approx 34$ **(Figura 7; φ′ = 35°, L/D ≈ 49)**

SE PIDE

Determinar la **resistencia por punta** Q_p del pilote según el método de **Coyle y Castello (1981)**.



Solución

SOLUCIÓN

1 Tensión efectiva en la punta y coeficiente (del ábaco, lectura aproximada)

$$q' = \gamma L = 18(20) = 360\ \text{kPa} \qquad N_q^* \approx 34$$

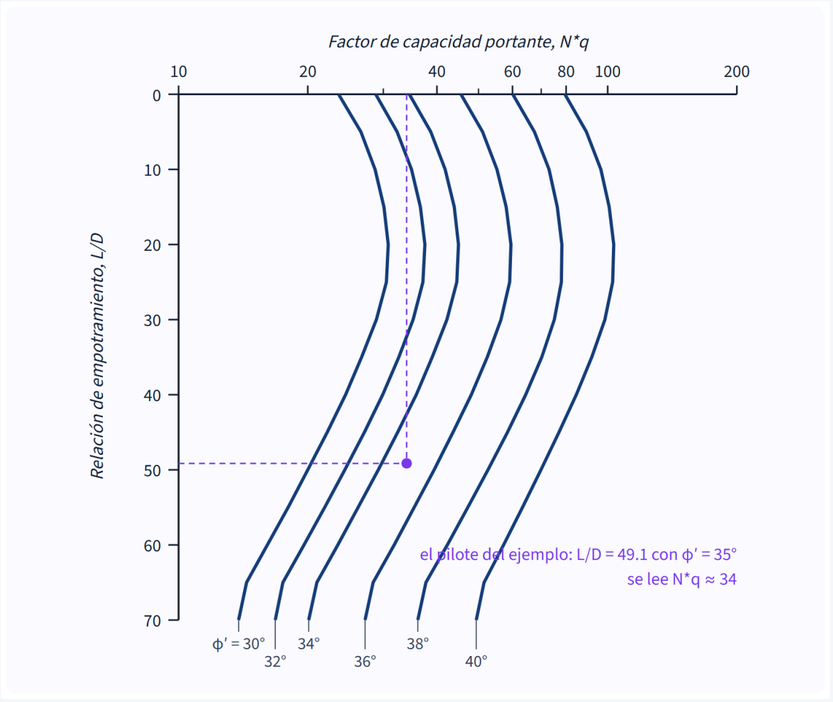
2 Resistencia unitaria por punta

$$q_p = q' N_q^* = 360(34) = 12{,}240\ \text{kPa}$$

3 Resistencia por punta

$$Q_p = A_p q_p = 0.1656(12{,}240) = \mathbf{2{,}028}\ \text{kN}$$

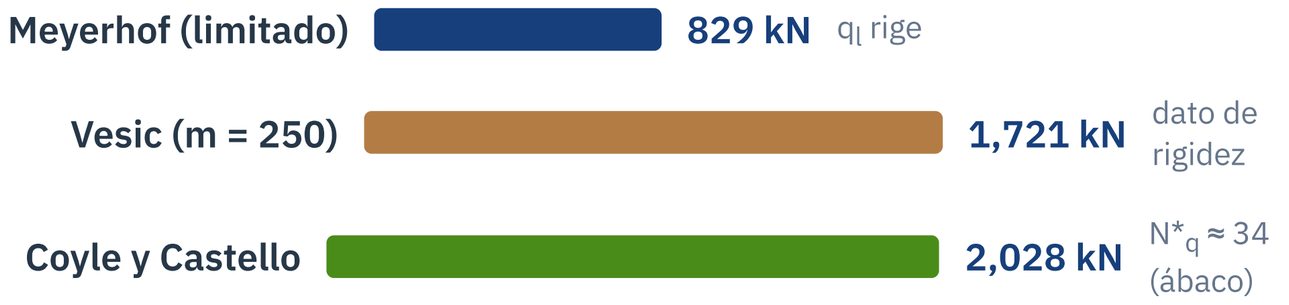
El N^*_q leído en el ábaco es un valor aproximado; puede variar en ±1 – 2 unidades según φ′ y L/D. El resultado, el mayor de los tres métodos: **2,028 kN**.



Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Tres métodos, el mismo pilote

TEORÍA



Como los métodos se basan en **hipótesis distintas**, los resultados también difieren. El intervalo es un indicador franco de hasta qué punto puede conocerse la resistencia por punta.

Meyerhof: **conservador** debido al valor límite

Vesic: introduce explícitamente la compacidad de la arena mediante **m**

Coyle–Castello: se basa en pilotes hincados medidos; la lectura del ábaco es aproximada

En la práctica: se calculan al menos dos métodos, se examina el intervalo y, a falta de un **ensayo de carga** o de experiencia local, se adopta un valor próximo al extremo prudente.

Resistencia por fuste: f = K σ′ tanδ′

TEORÍA

La resistencia por fuste es la suma de la fricción unitaria a lo largo de la superficie del fuste:

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

La fricción unitaria f se escribe en función de la profundidad del modo siguiente (L′: profundidad crítica):

$$f = K\,\sigma'_o \tan\delta' \qquad (0 \le z \le L')$$
$$f = f_{z=L'} \qquad (L' \le z \le L)$$

p : perímetro de la sección del pilote, ΔL : longitud en la que p y f se toman constantes

K : coeficiente de empuje lateral efectivo, σ'_o : tensión vertical efectiva a esa profundidad

δ′ : ángulo de rozamiento terreno–pilote (generalmente 0.5φ′ – 0.8φ′)

VALORES DE K (SEGÚN EL TIPO DE PILOTE)

Tipo de pilote	K
Perforado o con chorro de agua	≈ Ko = 1 − sin φ′
Hincado de bajo desplazamiento	≈ Ko a 1.4Ko = 1.4(1 − sin φ′)
Hincado de alto desplazamiento	≈ Ko a 1.8Ko = 1.8(1 − sin φ′)

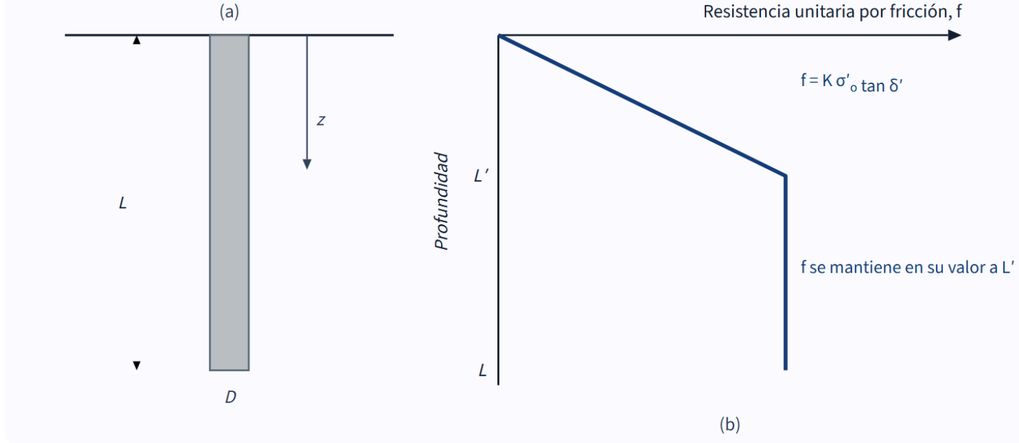
El **hincado** compacta la arena a su alrededor (hasta aproximadamente 2.5D)

Un pilote de alto desplazamiento moviliza más rozamiento por fuste que uno de bajo desplazamiento

Los pilotes **perforados/jet** dan menor fricción que los hincados

Profundidad crítica: ¿por qué no aumenta la fricción?

TEORÍA



La fricción medida **no aumenta indefinidamente** con la profundidad, como lo hace la tensión efectiva; aumenta hasta una **profundidad crítica** aproximada y después se mantiene constante.

$$L' \approx 15\,D$$

La explicación habitual es el **efecto arco**: la arena no transmite al pilote toda la tensión del terreno suprayacente alrededor del fuste. Por debajo de L′, el módulo **mantiene la tensión efectiva en su valor a la profundidad L′**; la fricción unitaria permanece constante hasta la punta.

> La fuente da 15D – 20D para L′; valor conservador: **15D**

Enunciado

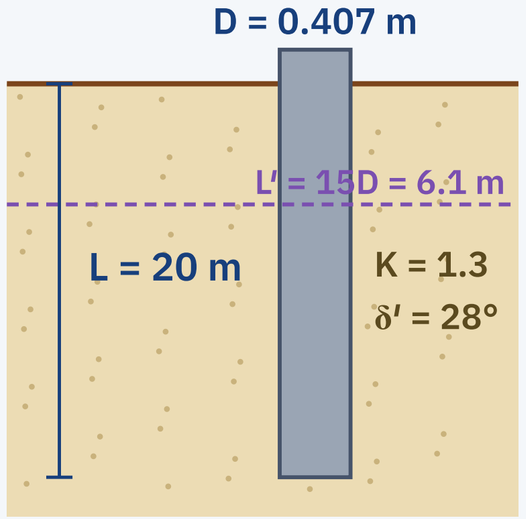
EJEMPLO

Datos

Pilote y arena	**Igual que el ejemplo 2: L = 20 m, D = 0.407 m, γ = 18 kN/m³**
Perímetro	$p = 4D = 4(0.407) = 1.628\ \text{m}$
Coeficientes	$K = 1.3$ **(hincado de gran desplazamiento),** $\delta' = 28°$ **(**$\approx 0.8\varphi'$**)**

SE PIDE

Teniendo en cuenta la profundidad crítica (L′ = 15D), determinar la **resistencia por fuste** Q_s del pilote.



Solución

SOLUCIÓN

1 Profundidad crítica y tensión a dicha profundidad

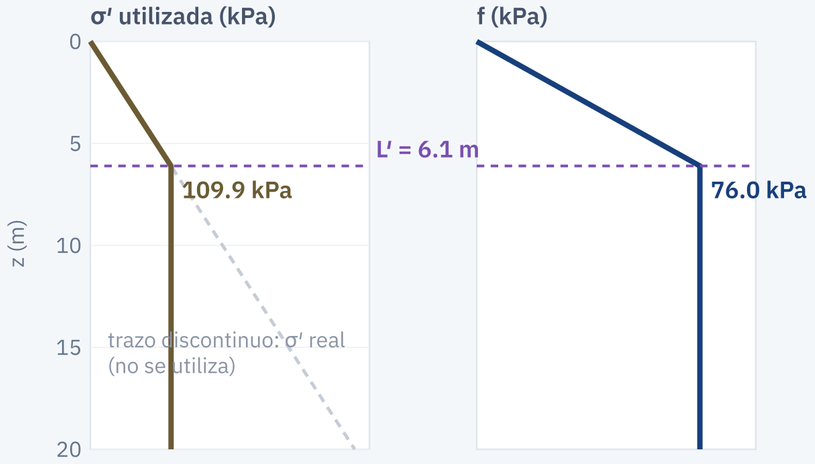
$$L' = 15D = 15(0.407) = \mathbf{6.105}\ \text{m} \qquad \sigma'(L') = 18(6.105) = 109.9\ \text{kPa}$$

2 L′ y fricción unitaria en la punta (constante por debajo de L′)

$$f_{L'} = K\,\sigma'(L')\tan\delta' = 1.3(109.9)\tan 28^\circ = \mathbf{76.0}\ \text{kPa}$$

3 Q_s: [área del triángulo (0 – L′) + área del rectángulo (L′ – L)] × perímetro

$$Q_s = p\left[\tfrac{1}{2} f_{L'} L' + f_{L'}(L - L')\right]$$
$$= 1.628\left[\tfrac{1}{2}(76.0)(6.10) + (76.0)(13.89)\right]$$

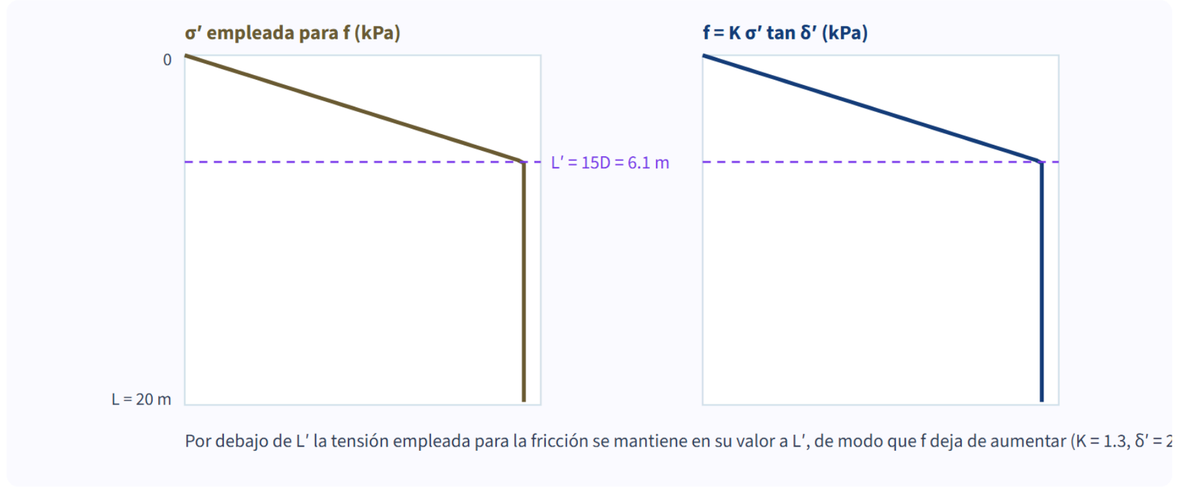


Q_S = 1,628 [231.9 + 1,055.4] = **2,096 kN**.

Comprobar la solución en GeoTerva ↗

¿Qué ocurre si se olvida la profundidad crítica?

TEORÍA



Se calcula el mismo pilote **sin considerar L′**, suponiendo que la tensión aumenta linealmente hasta la punta:

$$f_L = 1.3(360)\tan 28^\circ = 248.8\ \text{kPa}$$
$$Q_s = p\,\tfrac{1}{2} f_L L = 4{,}051\ \text{kN}$$

2,096 kN en lugar de **4,051 kN**: alrededor de un **93% de exceso**. En un pilote largo, omitir la profundidad crítica supone un gran error del lado de la inseguridad.

Coyle y Castello: con una única tensión media

TEORÍA

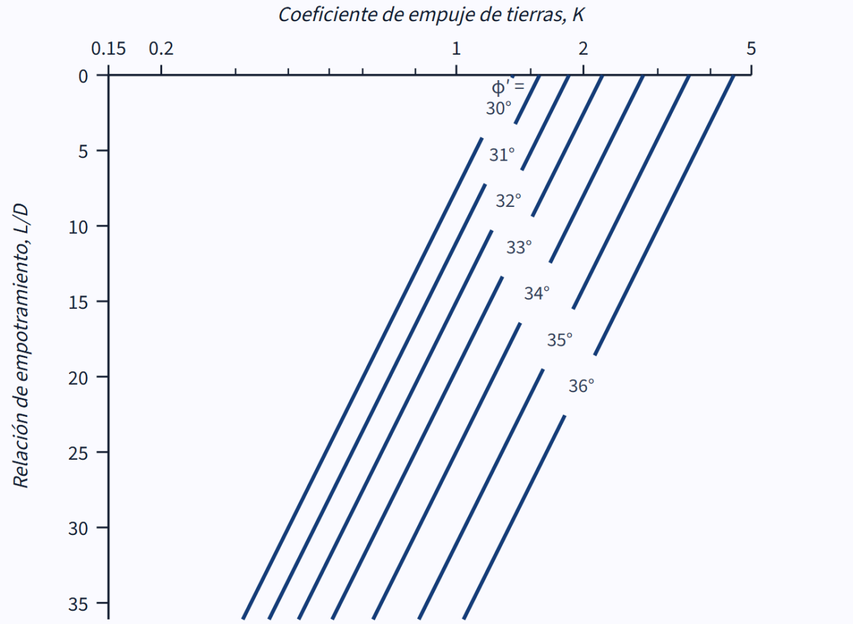
Coyle y Castello propusieron calcular la resistencia por fuste **en un solo paso con la tensión efectiva media a lo largo de la longitud empotrada**:

$$Q_s = f_{av}\, p\, L = (K\, \bar{\sigma}'_o \tan \delta')\, p\, L$$
$$\delta' = 0.8\varphi'$$

K se ha determinado a partir de ensayos y se lee en el ábaco (a un lado) en función de **L/D** y φ′.

No hay una profundidad crítica independiente: de ello se ocupa el promedio

Por ello, los dos métodos del perímetro pueden dar **grandes diferencias en pilotes largos**



Enunciado

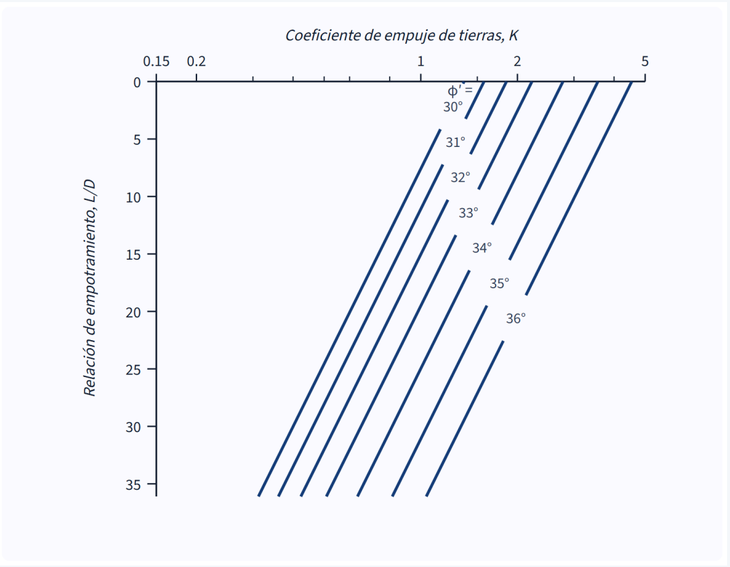
EJEMPLO

Datos

Pilote y arena	**Igual que en el Ejemplo 2: L = 20 m, D = 0.407 m, φ′ = 35°, γ = 18 kN/m³**
Coeficiente	$K \approx 0.41$ **(Figura 10; el ábaco está trazado hasta L/D = 36 y, para L/D ≈ 49, la curva se lee prolongándola; en el módulo, introducir este valor en la casilla K; el módulo rellena 0.48 a partir de su propia lectura del ábaco)**
Ángulo de rozamiento	$\delta' = 0.8\varphi' = 0.8(35^\circ) = 28^\circ$

SE PIDE

Determinar la **resistencia por fuste** Q_s del pilote según el método de **Coyle y Castello (1981)**.



Solución

SOLUCIÓN

1 Tensión efectiva media a lo largo del fuste (arena homogénea, sin nivel freático)

$$\bar{\sigma}'_o = \frac{\gamma L}{2} = \frac{18(20)}{2} = \mathbf{180}\ \text{kPa}$$

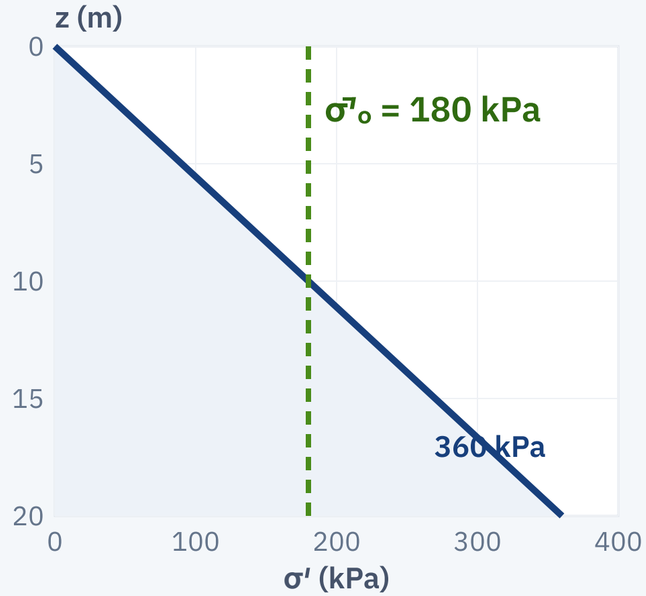
2 Fricción unitaria media

$$f_{av} = K\,\bar{\sigma}'_o \tan\delta' = 0.41(180)\tan 28^\circ = \mathbf{39.2}\ \text{kPa}$$

3 Resistencia por fuste

$$Q_s = f_{av}\,p\,L = 39.2(1.628)(20) = \mathbf{1{,}278}\ \text{kN}$$

El método K–δ′ (con L′) da **2,096 kN** y Coyle–Castello **1,278 kN**: en este pilote largo existe una diferencia de aproximadamente el 64 % entre ambos.



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

Se elige el extremo superior si el terreno solo se conoce por unos pocos sondeos o si la capacidad se apoya sobre todo en la **punta**

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

Enunciado

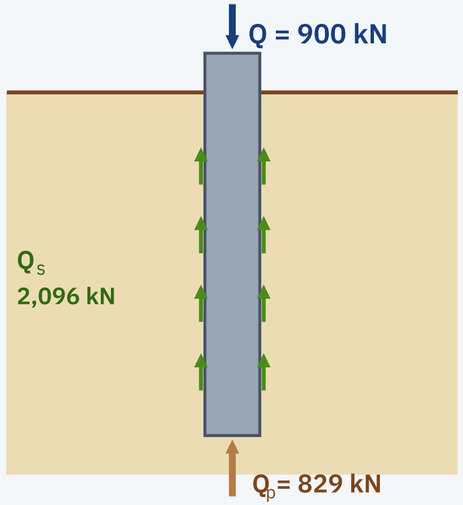
EJEMPLO

Datos

Resistencia por punta	**Q_p = 829 kN (Meyerhof, Ejemplo 2)**
Resistencia por fuste	**Q_s = 2,096 kN (K–δ′, Ejemplo 5)**
Factor de seguridad	**FS = 3**
Carga de trabajo sobre el pilote	**Q = 900 kN**

SE PIDE

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



Solución

SOLUCIÓN

1 Capacidad portante última

$$Q_u = Q_p + Q_s = 829 + 2{,}096 = \mathbf{2{,}925}\ \text{kN}$$

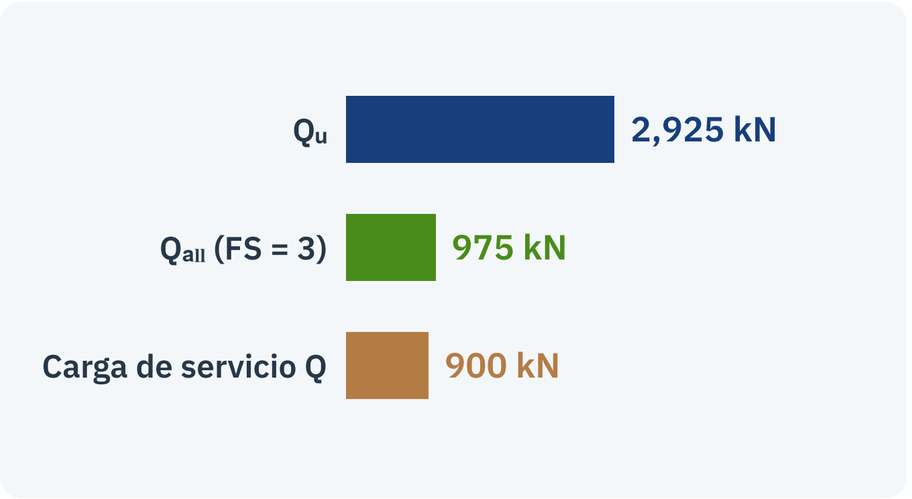
2 Capacidad portante admisible

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{FS} = \frac{2{,}925}{3} = \mathbf{975}\ \text{kN}$$

3 Comprobación

$$Q = 900\ \text{kN} \ \leq\ Q_{all} = 975\ \text{kN} \quad \Rightarrow \quad \text{suficiente}$$

Grado de aprovechamiento Q / Q_{all} = 900 / 975 = **0.92**.



Comprobar la solución en GeoTerva ↗

El mismo pilote: Q_u y Q_{all} (FS = 3)

TEORÍA

Q_u · Q_{all} (kN)

	Q_s: K–δ′ (con L′) **2,096 kN**	Q_s: Coyle–Castello **1,278 kN**
Q_p: **Meyerhof** 829 kN	2,925 · **975**	2,107 · **702**
Q_p: **Vesic** 1,721 kN	3,817 · **1,272**	2,999 · **1,000**
Q_p: **Coyle–Castello** 2,028 kN	4,123 · **1,374**	3,305 · **1,102**

Para un pilote de veinte metros, dos métodos de resistencia por fuste y tres de resistencia por punta dan seis valores distintos de Q_u: **2,107 – 4,123 kN**. La elección de la combinación es una **decisión de ingeniería**.

Interpretar el intervalo; no fiarse de un solo valor

La resistencia por fuste es la mayor parte del total: la decisión sobre la **profundidad crítica** es determinante

Verificar, si es posible, con un **ensayo de carga de pilote**

Resumen

Puntos clave

$Q_u = Q_p + Q_s$; en arena ambos componentes dependen de la **tensión efectiva**

Meyerhof: N^*_q a partir de φ', q_p limitada ($q_l = 0.5 p_a N^*_q \tan\varphi'$)

Vesic: $\bar{\sigma}'_o N^*_\sigma$; interviene la rigidez de la arena (m, I_{rr})

Coyle y Castello: $N^*_q(\varphi', L/D)$ y $K(\varphi', L/D)$ ajustados a capacidades medidas

Resistencia por fuste: $f = K\sigma'\tan\delta'$, constante por debajo de **$L' \approx 15D$**

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

Referencias bibliográficas

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

Meyerhof, G.G. (1976). Bearing capacity and settlement of pile foundations. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 102(GT3), 197–228.

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

Coyle, H.M. and Castello, R.R. (1981). New design correlations for piles in sand. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 107(GT7), 965–986.

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