



GEOTECNIA II

CIMENTACIONES PROFUNDAS.

CONCEPTOS GENERALES



CAPACIDAD DE CARGA EN CIMENTACIONES PROFUNDAS

OBJETIVO:

- Establecer casos de aplicación de cimentaciones profundas.
- Identificar la forma de cálculo de la capacidad de carga en rotura.
- Concepto de Factor de Seguridad.

REFERENCIAS:

- Fundamentos de ingeniería geotécnica. Cuarta edición. BRAJA M. DAS. Capítulo 18. Pilotes de Cimentación.
- Soil Mechanics in Engineering Practice. 3° Edición. Terzaghi, K.; Peck, R. y Mesri, G. Chapter 9. Foundation.

Area de Geotecnia.

Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CORDOBA



DEFINICIONES

Fundaciones Profundas:

- Elementos que soportan una estructura y transfieren las cargas a mantos resistentes profundos en forma SEGURA.
- Se distinguen de las superficiales por su forma de trabajo (fricción + punta).
- Lo que se relaciona con su esbeltez ($L/D > 5-10$).

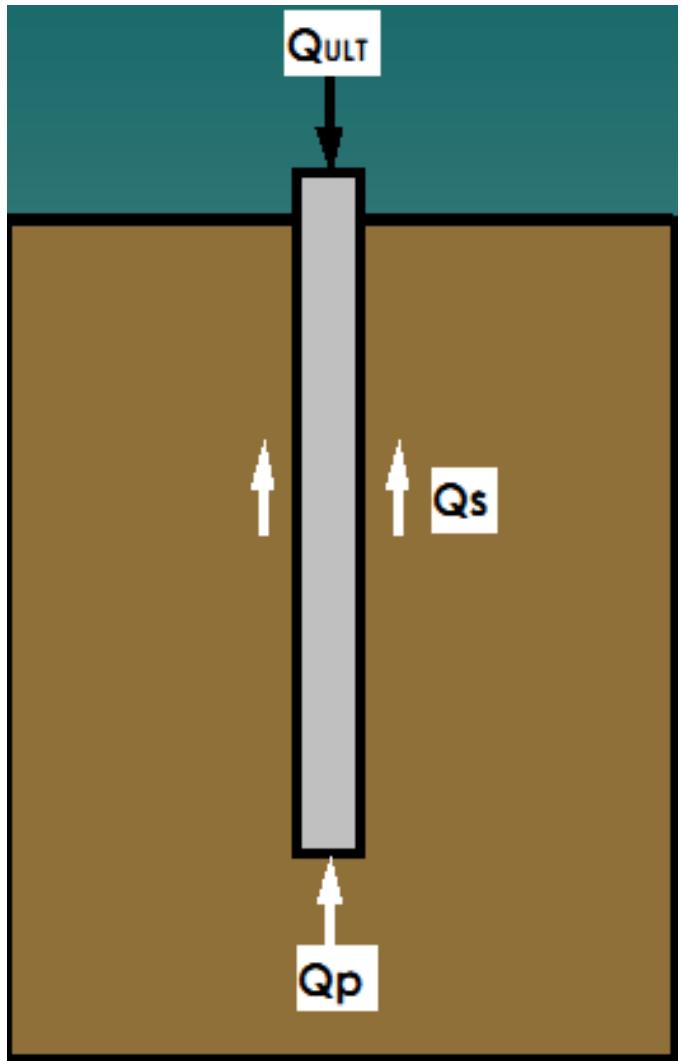
Capacidad de Carga del Pilote

- Capacidad Última de Carga : falla por corte
 $q_{ult} \rightarrow q_{falla}$
- Carga Admisible: Asentamiento Tolerable
$$Q_{seg} = Q_u / FS$$
- Capacidad de Soporte: Suelo resiste en forma segura

CLASIFICACION DE FUNDACIONES PROFUNDAS

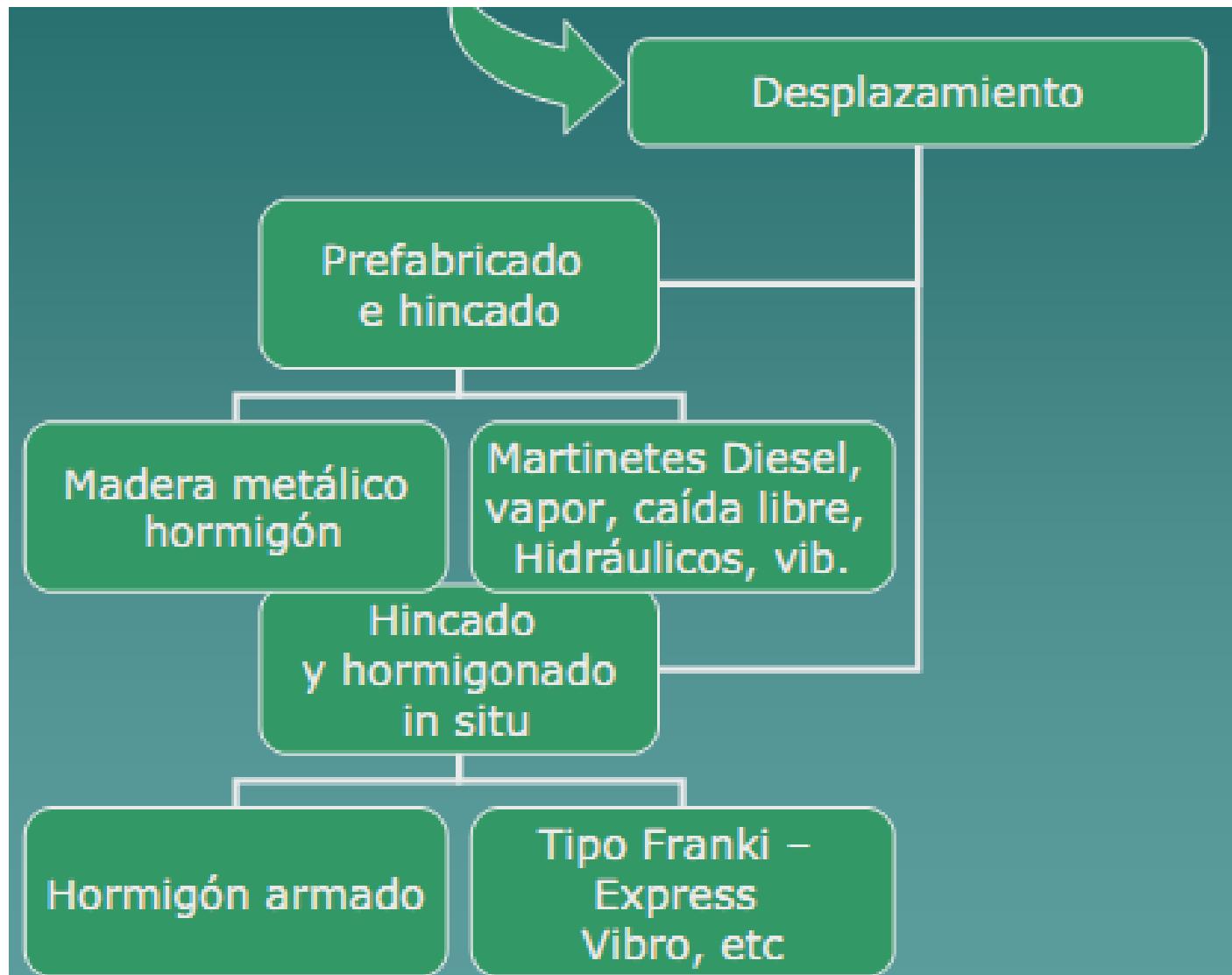
Los pilotes se pueden clasificar, entre otros aspectos, de acuerdo a:

1. Mecanismo de transferencia de carga
2. Métodos constructivos
3. Materiales constitutivos



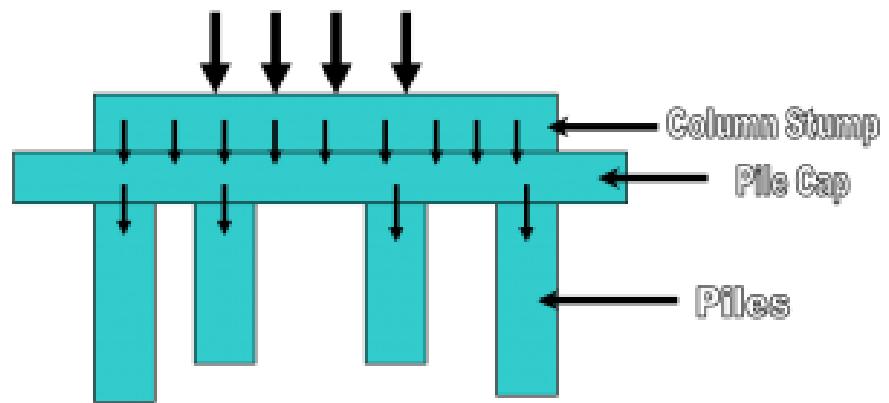
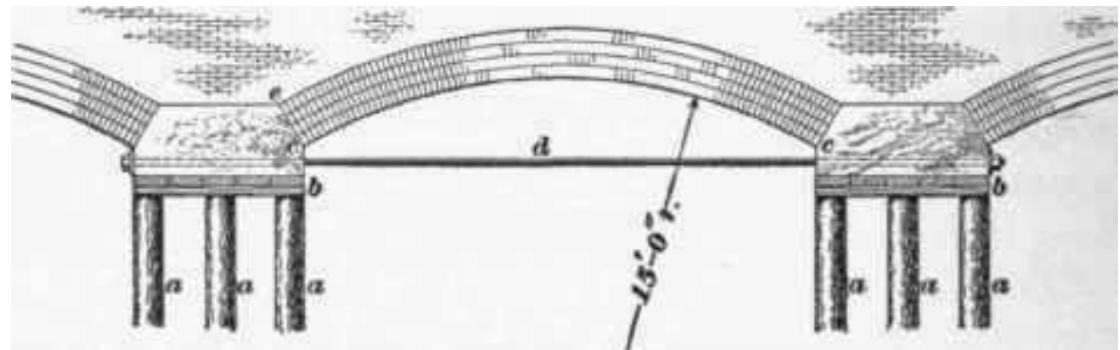
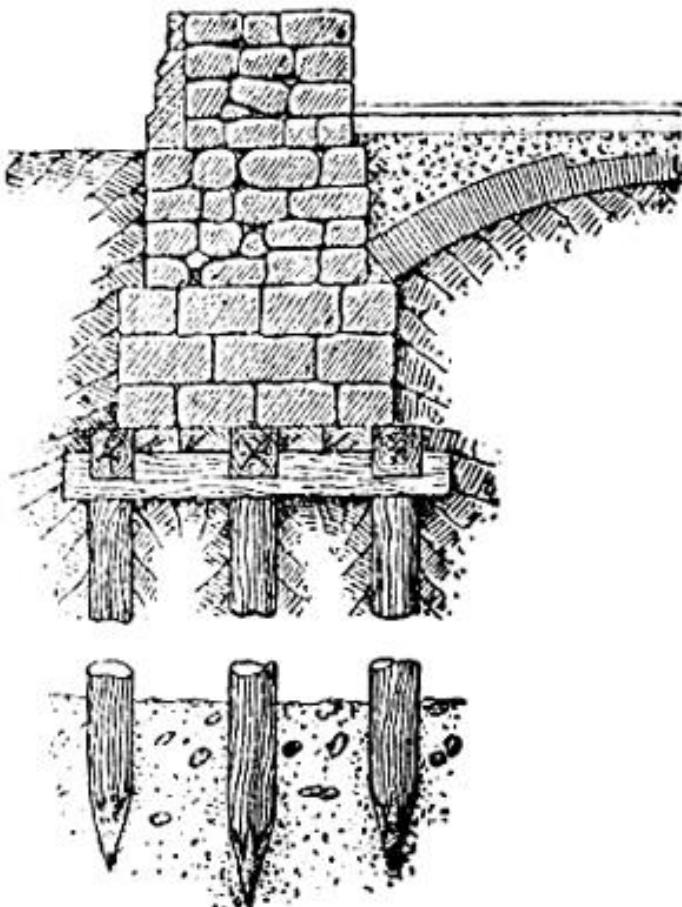


SEGÚN EL METODO



SEGÚN MATERIALES

Madera:



SEGÚN MATERIALES

Madera:



SEGÚN MATERIALES

Metálicos:



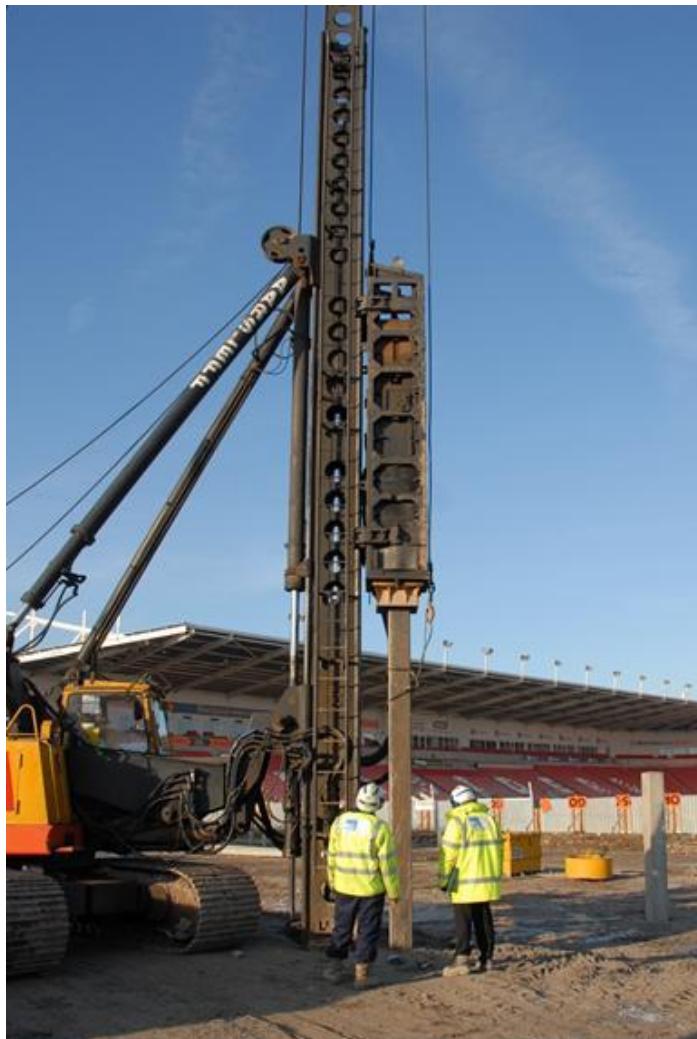
SEGÚN MATERIALES

Hormigón Armado - Pilotes hincados:



SEGÚN MATERIALES

Hormigón Armado - Pilotes hincados:



SEGÚN MATERIALES

Hormigón Armado: Pilotes Hincados

En Arcillas:

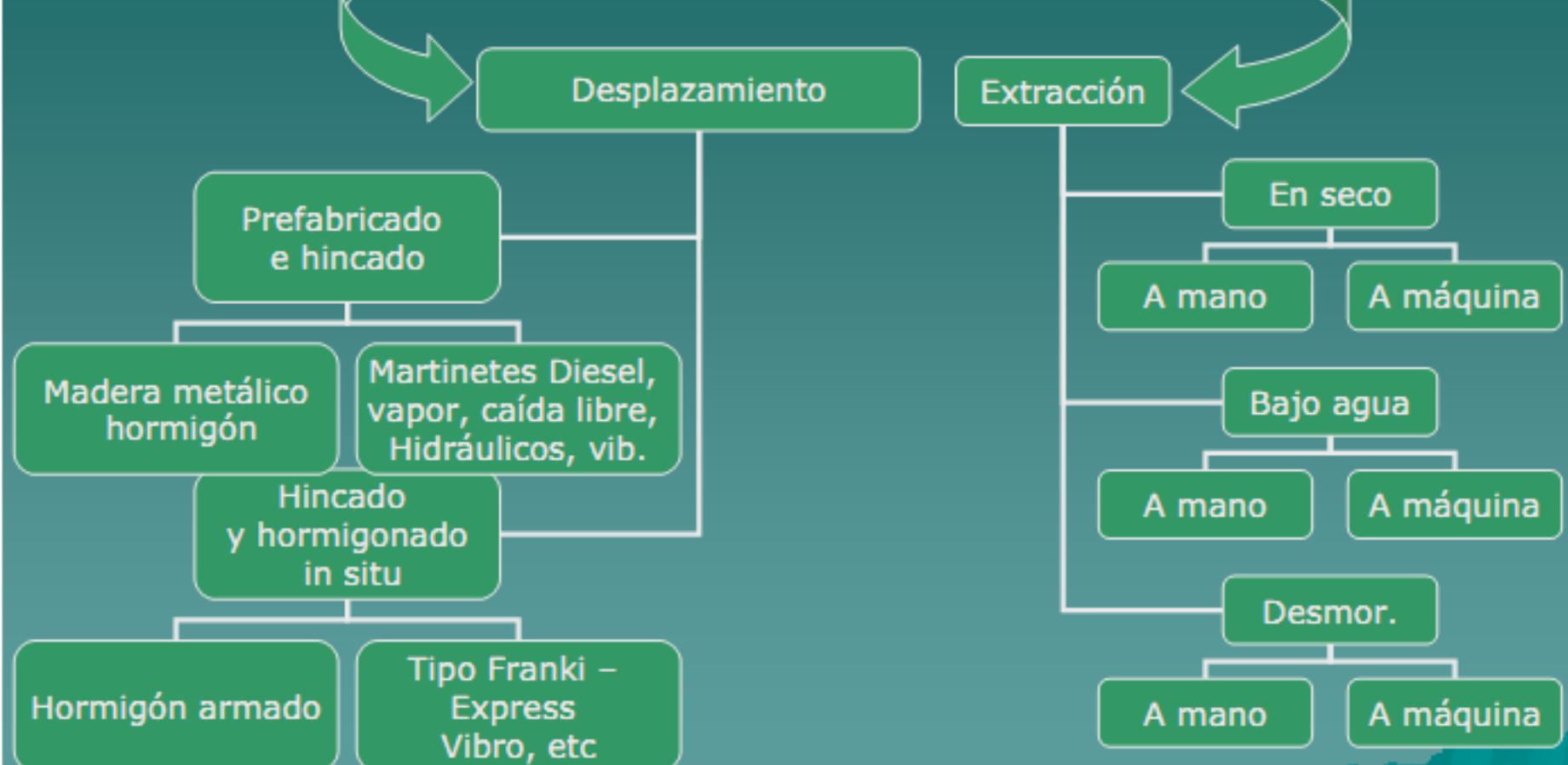
- **Pequeña disminución de volumen y es desplazada**
- **Se perturba, Cu tiende a aumentar con el tiempo**

En Arenas:

- **Desplazamiento del suelo bajo la punta y lateralmente**
- **Aumento de la densidad relativa y de ϕ**
- **Disminución de la densidad relativa y de ϕ en suelos muy densos**

SEGÚN EL METODO

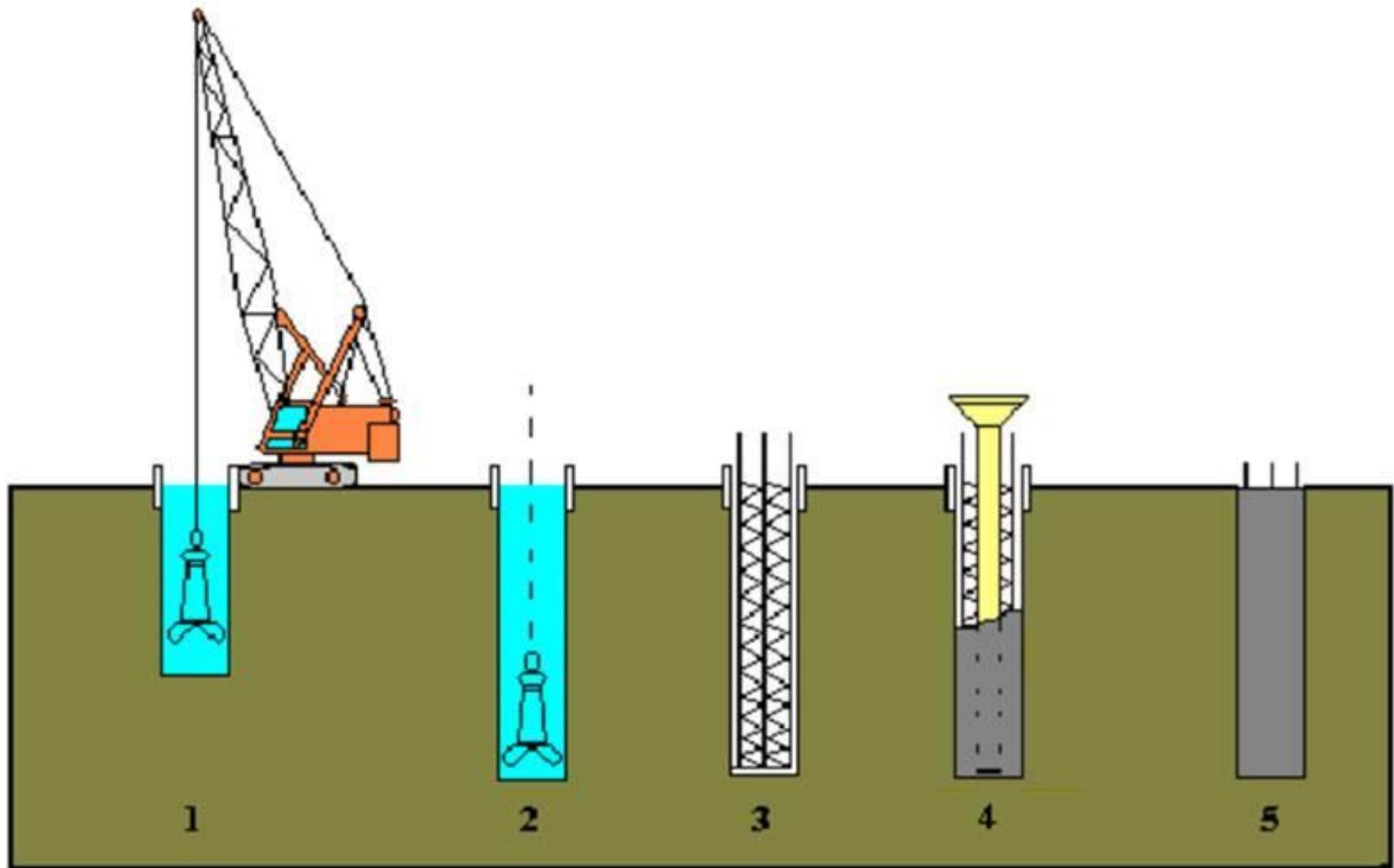
PILOTES





PILOTES EXCAVADOS

Pilotes excavados sin sostenimiento





PILOTES EXCAVADOS

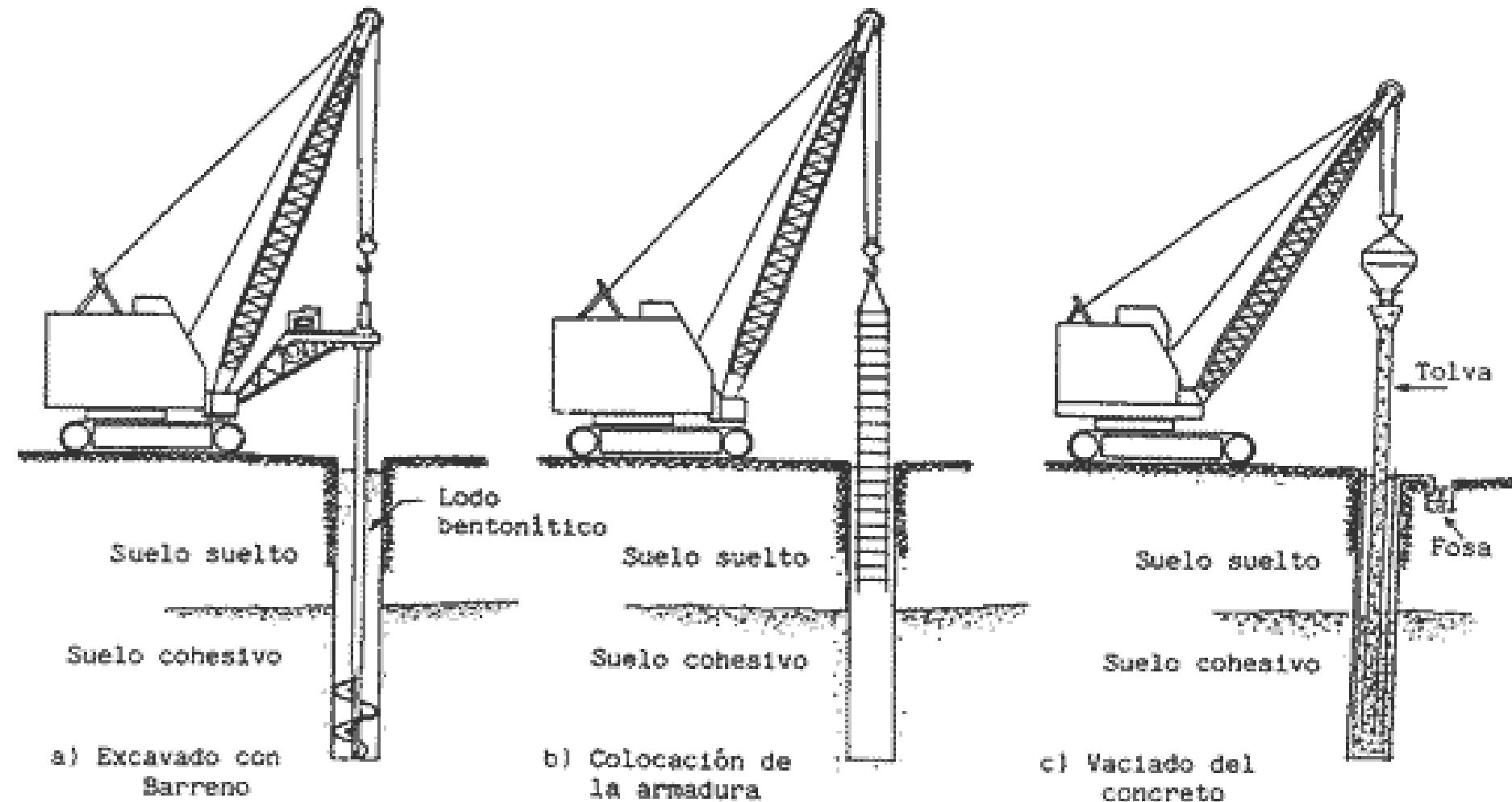
Pilotes excavados sin sostenimiento

Excavación con Equipo de Perforación



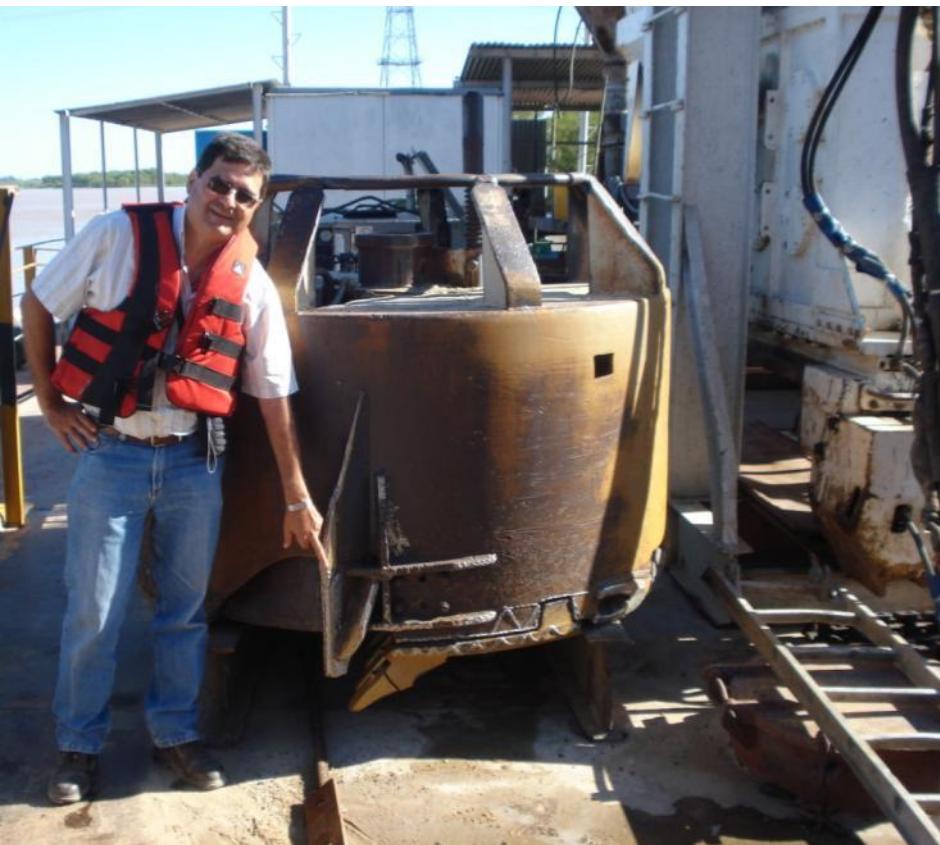
SEGÚN MATERIALES

Pilotes excavados – con lodo



SEGÚN MATERIALES

Hormigón Armado: Pilotes excavados



SEGÚN MATERIALES

Hormigón Armado: Pilotes excavados



SEGÚN MATERIALES

Hormigón Armado:

Pilotes excavados:

- **Los egipcios ya los empleaban.**
- **Muy empleado en todo el mundo.**
- **Resistencia intermedia.**
- **Problemas de agresividad mientras fragua.**
- **No precisa empalmes, recortes ni descabezado**
- **No producen desplazamiento del suelo**
- **Disminución en los esfuerzos efectivos por dilatación del medio por descompresión**
- **Se detiene al vaciar el concreto fluido dentro de la excavación.**



SEGÚN MATERIALES

Hormigón Armado: Pilotes excavados

- **Pilotes Excavados en Arcilla:**
 - Agrietamiento o la fluencia de la arcilla hacia la excavación.
 - Se debilita el suelo
 - El llenado con hormigón se restablecen parcialmente los esfuerzos
- **Pilotes Excavados en Arena:**
 - Descompresión del suelo puede producir el derrumbe
 - Proteger la excavación con una camisa metálica o con lodo bentonítico
 - La dilatación del suelo tiende a producir una baja de resistencia

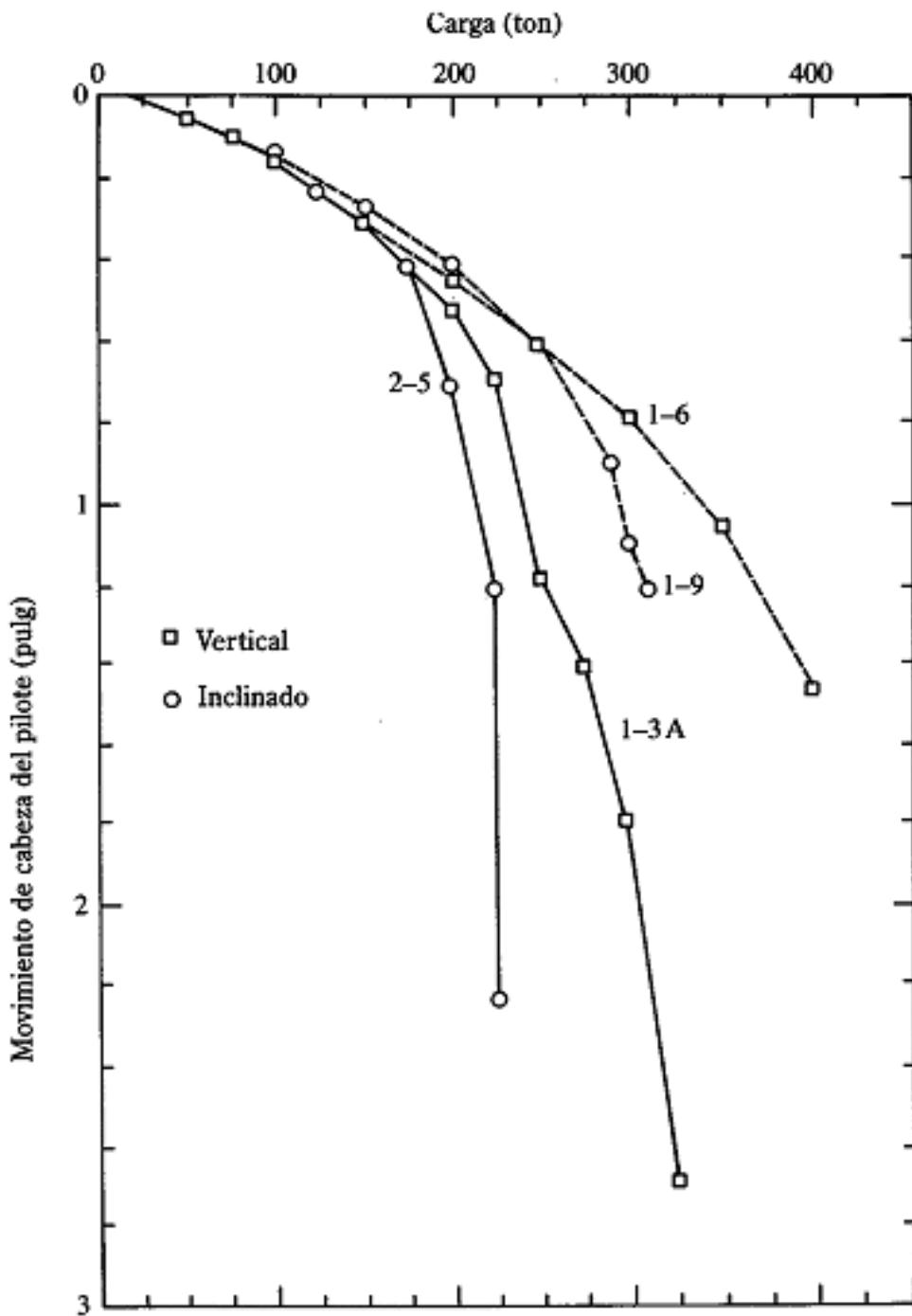


GEOTECNIA II

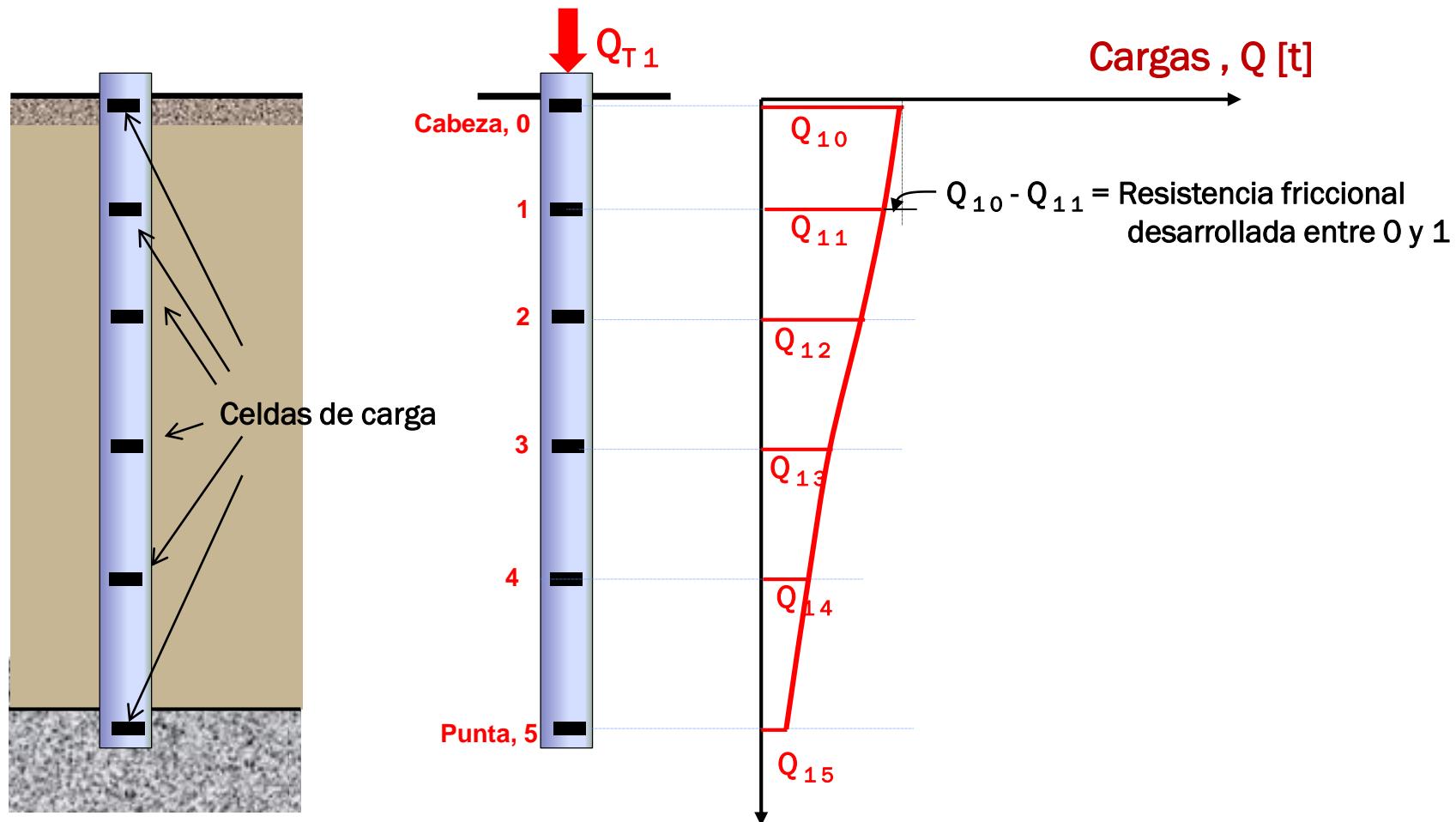
**CIMENTACIONES PROFUNDAS.
CAPACIDAD DE CARGA
ECUACIONES DE APLICACION**

COMPORTAMIENTO DE PILOTES BAJO CARGA

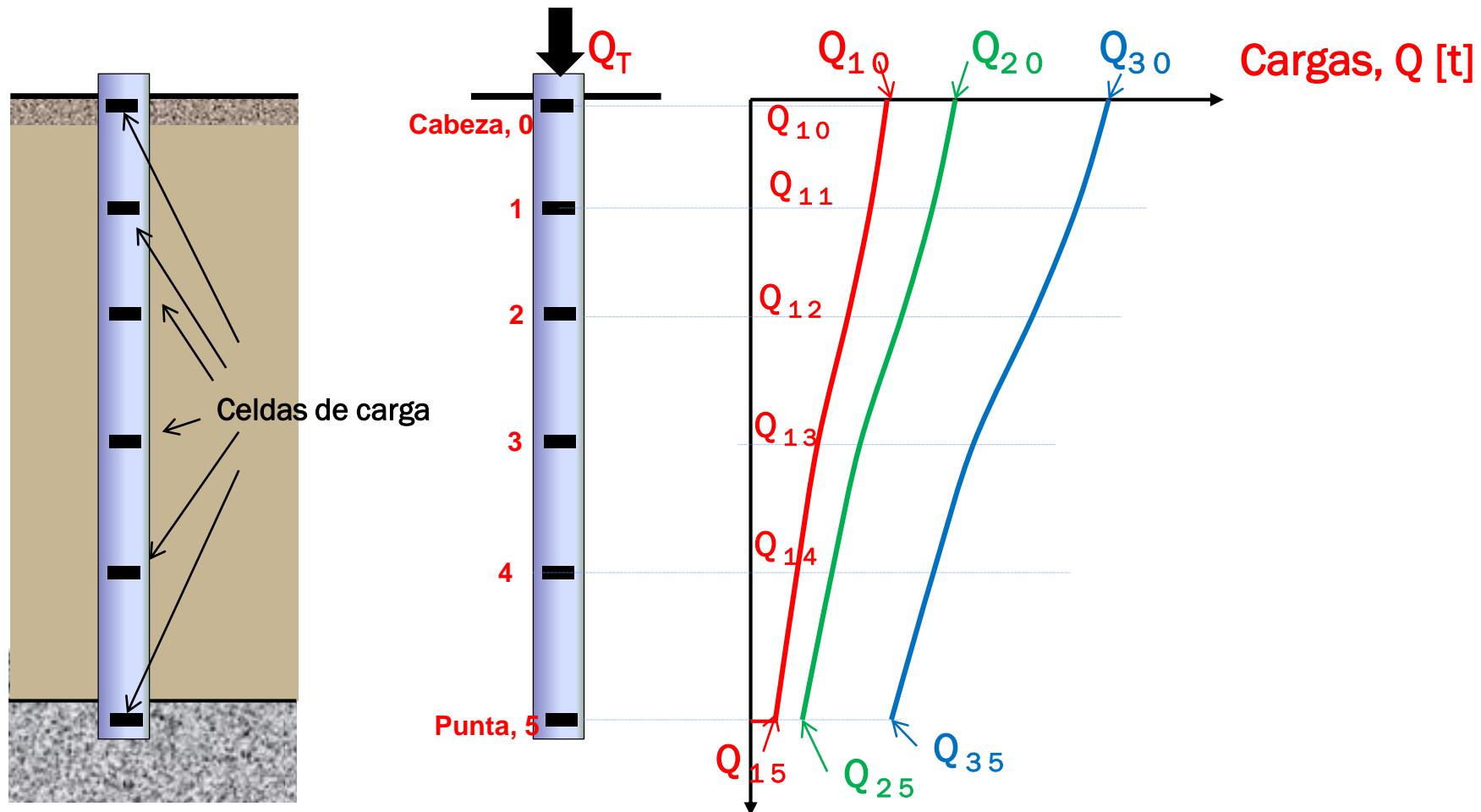
Briaud et al, 1989



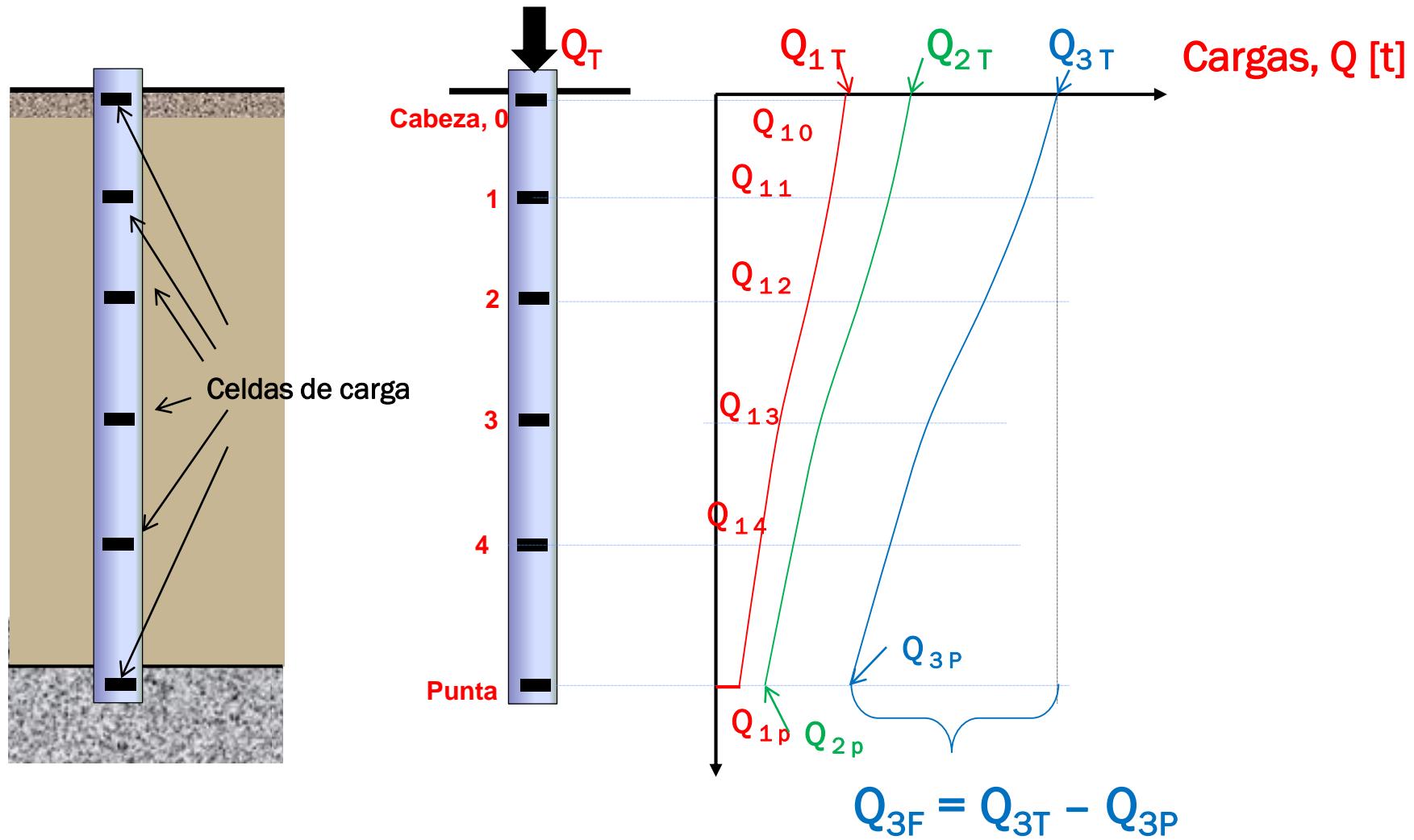
PILOTE EXCAVADO – FORMA DE TRABAJO



PILOTE EXCAVADO – FORMA DE TRABAJO



PILOTE EXCAVADO – FORMA DE TRABAJO

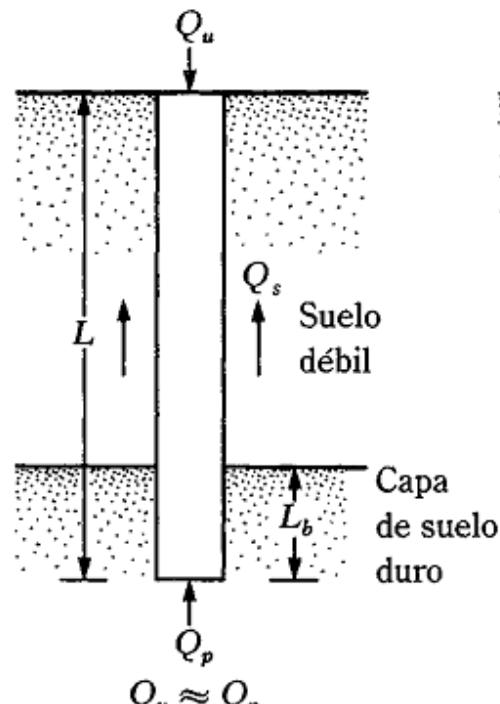
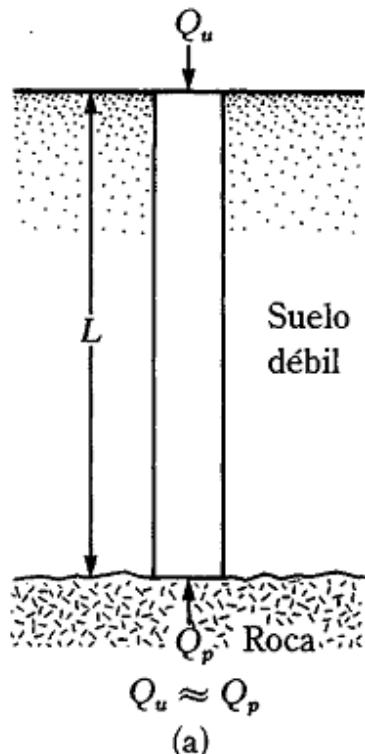
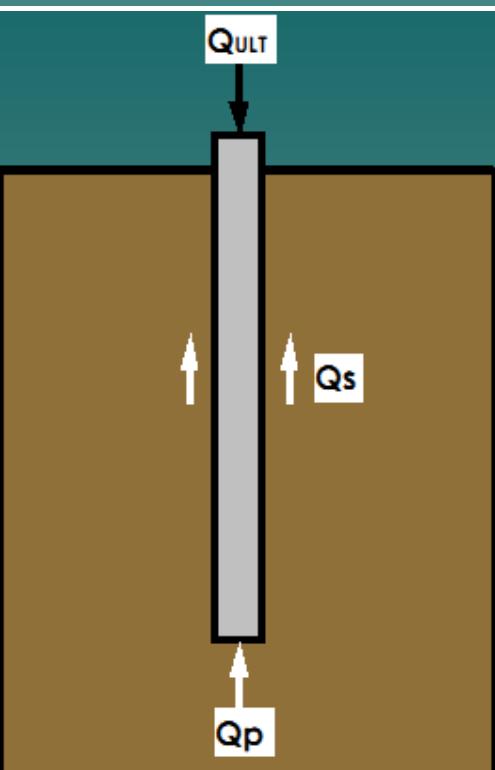


CARGA DE HUNDIMIENTO DEL PILOTE

$$Q_{ult} = Q_p + Q_s$$

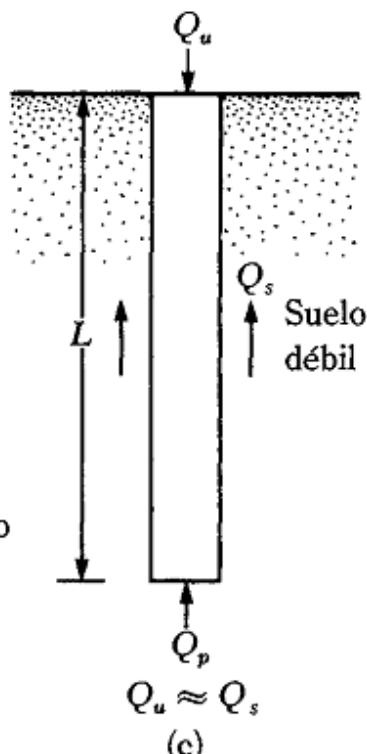
Q_p = Carga de punta

Q_s = Carga del fuste



L_b = profundidad de penetración
en estrato de apoyo

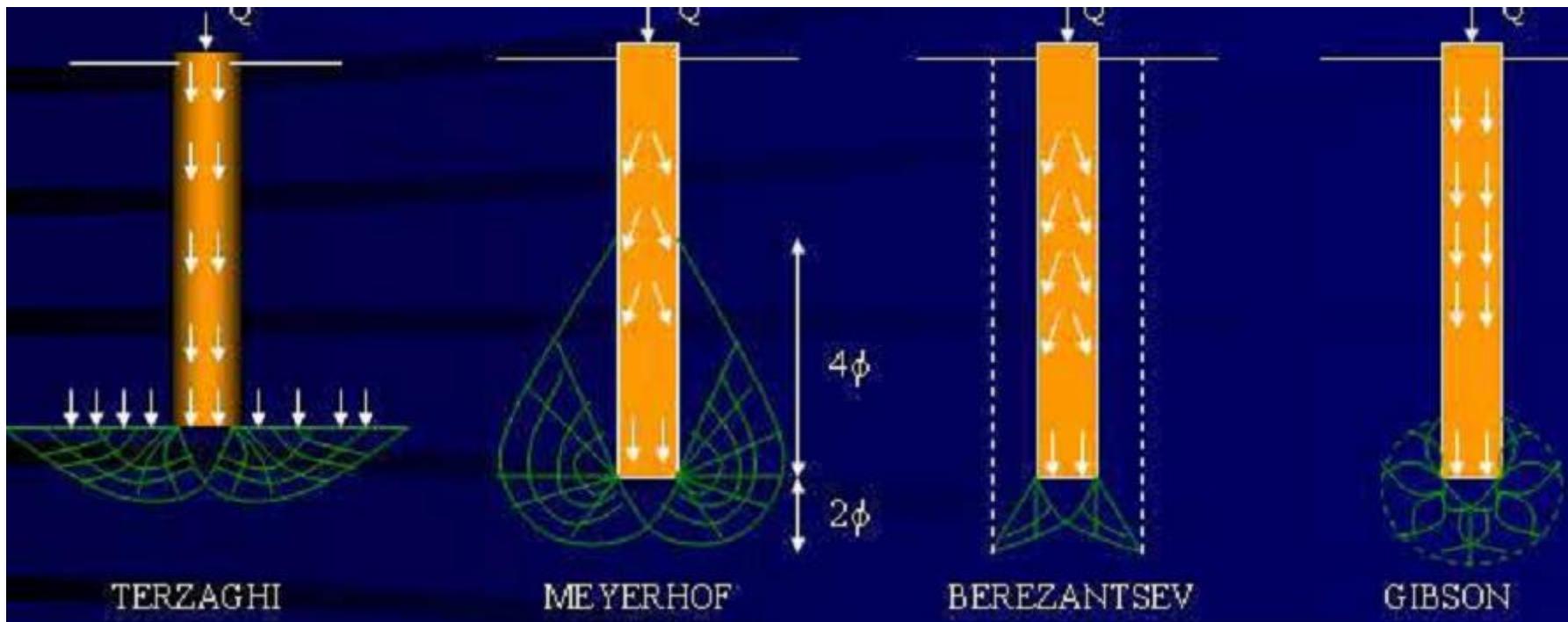
(b)



(c)

CAPACIDAD DE CARGA EN LA PUNTA

Modelos de Rotura en la Punta



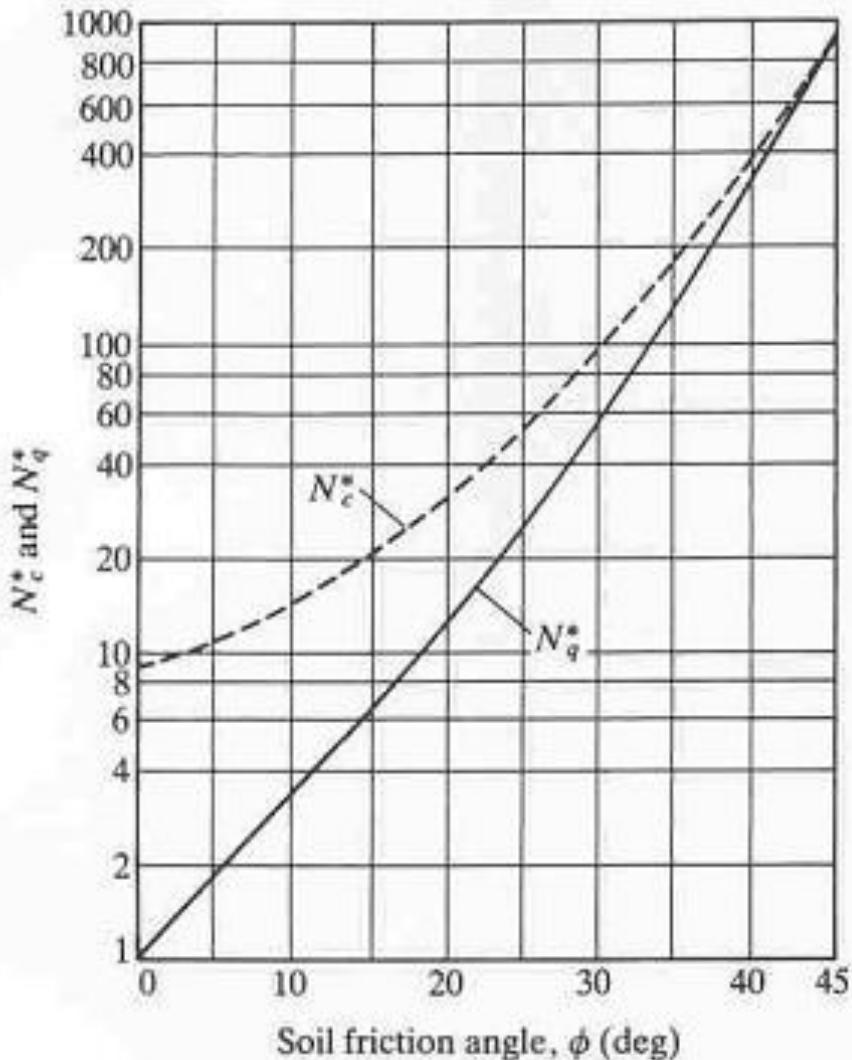
PILOTES EN SUELOS CON COHESION Y FRICCIÓN

$$q_p = c' N_c^* + q' N_q^*$$

$$N_c^* = (N_q^* - 1) \cot \phi$$

(Kerisel, 1962)

N_q^{*}; N_c^{*} difieren de los valores adoptados para superficiales



CAPACIDAD DE CARGA EN LA PUNTA Fórmulas según teoría de rotura

Suelos Friccionales

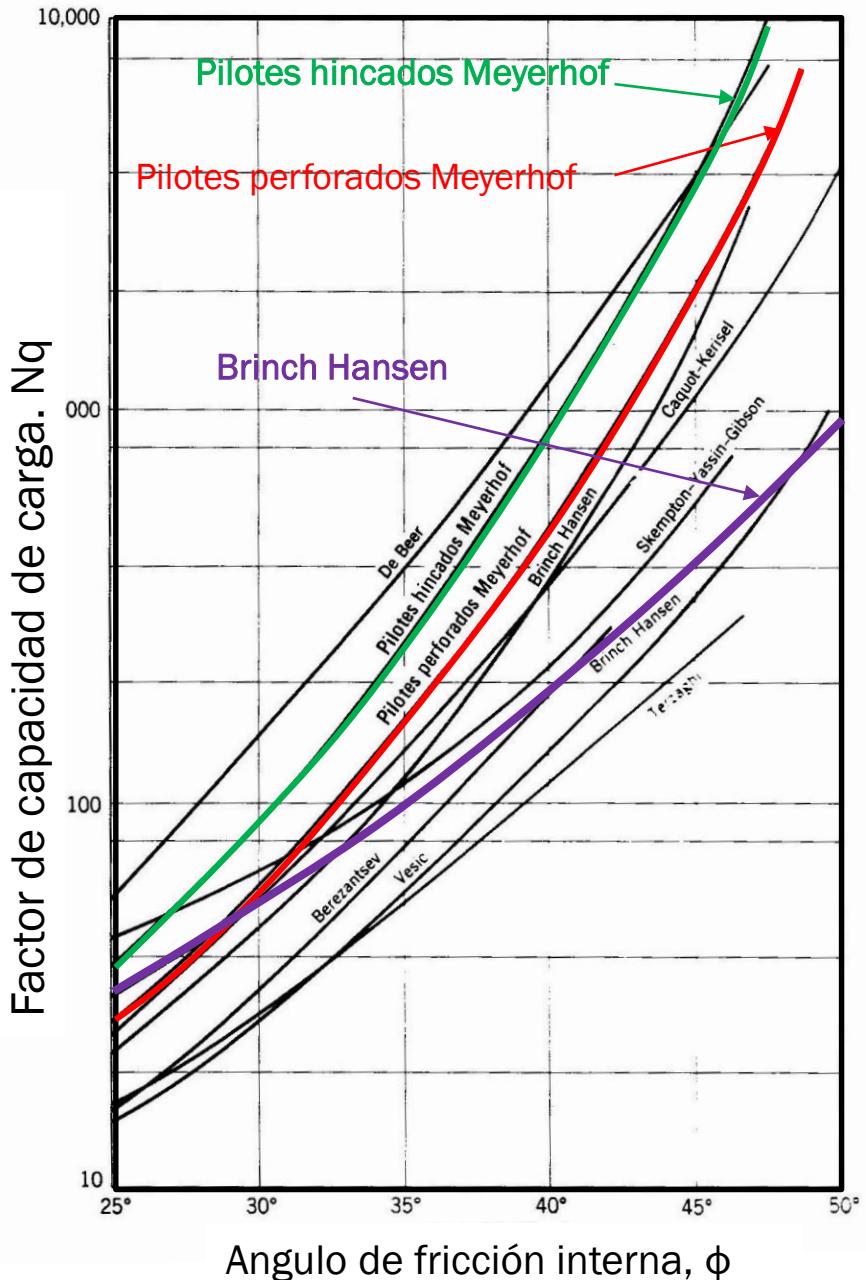
$$q_p = \sigma_{vo} N'_q$$

Parámetros componentes

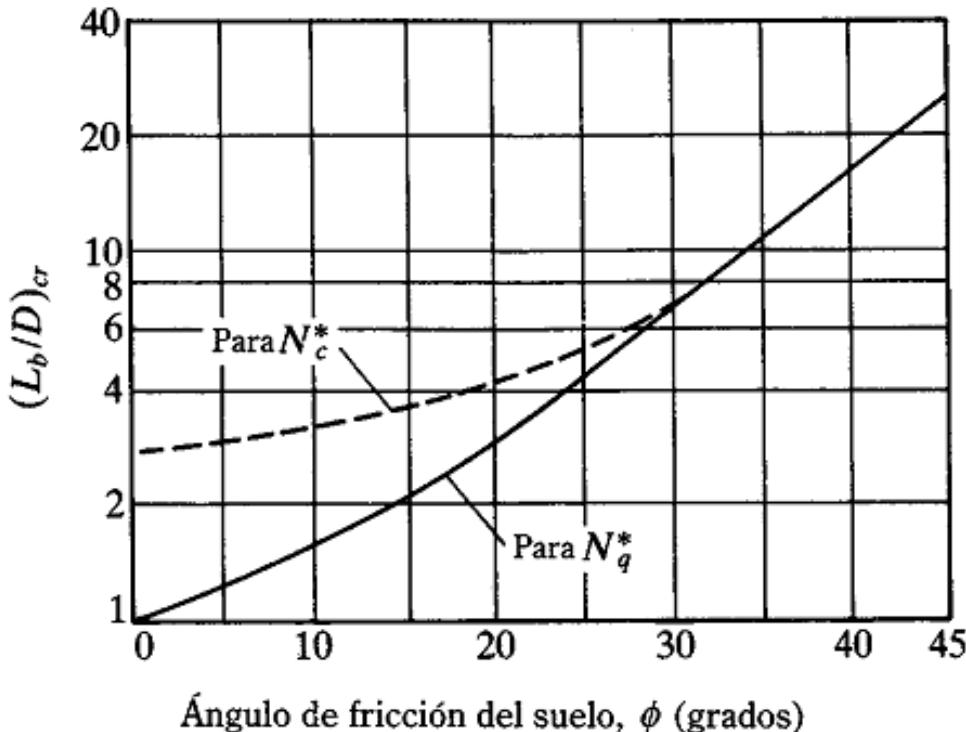
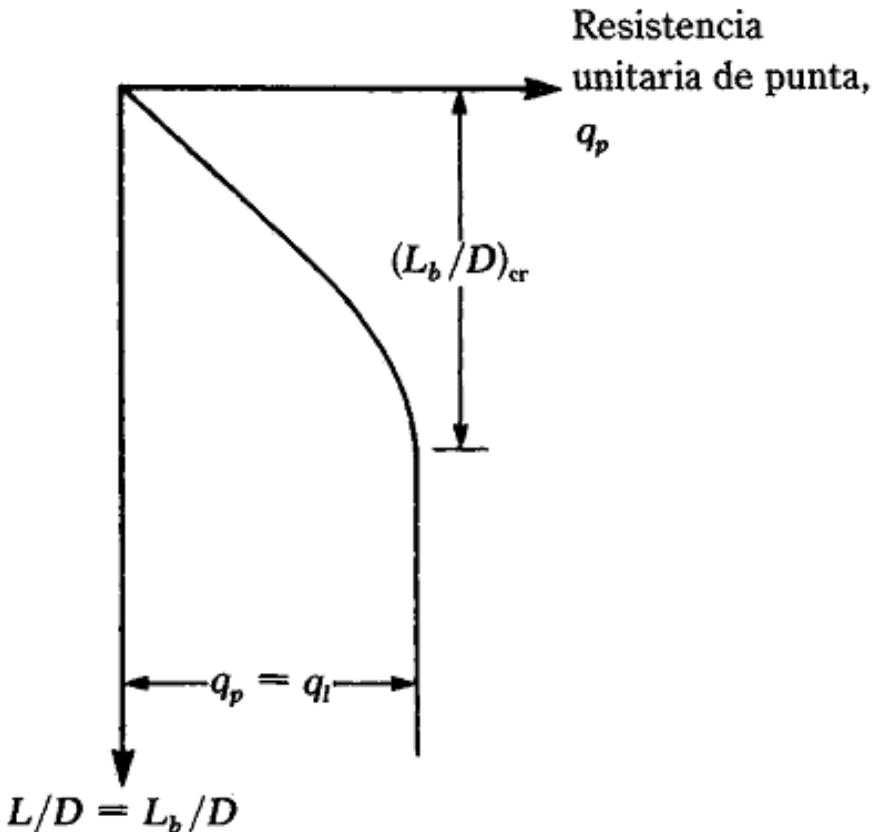
σ_{vo} = Esfuerzo vertical en la punta

$N'_q = f(\phi)$ factor de capacidad

$$q_{pu} = \sigma_{vo} N'_q A_p < q_{pu,lim} A_p$$



SUELOS FRICTIONALES - PROFUNDIDAD CRITICA

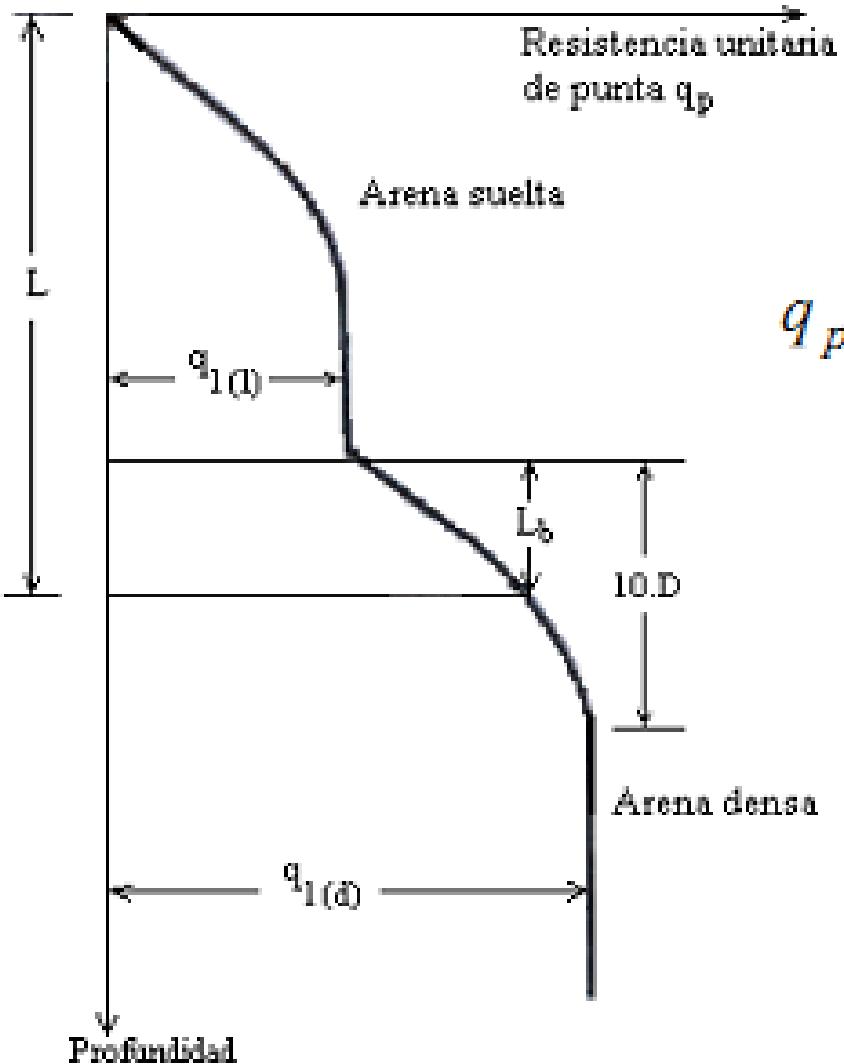


D, diámetro del pilote
Lb, Long crítica

$$q_{pu,lim} = 50 N q' \operatorname{tg}(\varphi') \text{ en kPa}$$

Meyerhof, 1976

SUELOS FRICTIONALES - PROFUNDIDAD CRITICA



$$q_{pu} = q_{l(l)} + \frac{[q_{l(d)} - q_{l(l)}] \cdot L_b}{10D} \leq q_{l(d)}$$

q_p : Resistencia última de punta.
 $q_{l(l)}$: Resistencia de punta límite en la arena suelta, determinada.
 $q_{l(d)}$: Resistencia de punta límite en la arena densa, determinada.
 L_b : Profundidad de penetración en la cana de arena densa.

CAPACIDAD DE CARGA EN LA PUNTA

Fórmulas Empíricas

PILOTES EXCAVADOS

Meyerhof, 1976

$$N_{corr} = \left[0.77 \log_{10} \left(\frac{1.92}{\sigma'_v} \right) \right] N$$

$$q_p (\text{kN/m}^2) = 40N_{60} \frac{L}{D} \leq 400N_{60}$$

Long y Winsocket, 1999

$$q_p = 6,7 N_{60} \quad [\text{tn/m}^2]$$

Reese y O'Neill, 1988

$$q_p < 450 \quad [\text{tn/m}^2]$$



CAPACIDAD DE CARGA POR LA PUNTA

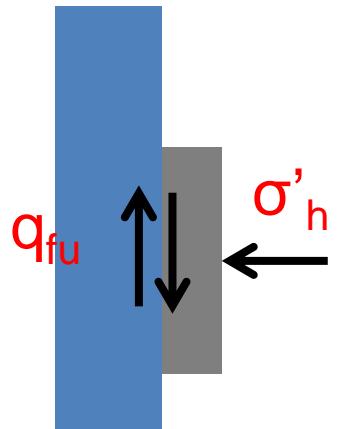
$$q_{p\text{ Ult.}} = c \cdot Nc^* + q \cdot Nq^*$$

Arcillas (condición No Drenada : Se considera $\phi = 0$)

$$q_{p\text{ Ult.}} = c_u \cdot Nc^* = 9,0 \cdot c_u$$

$$Q_{T\text{ Ult.}} = 9,0 \cdot c_u \cdot A_{\text{punta}}$$

CAPACIDAD DE CARGA POR EL FUSTE

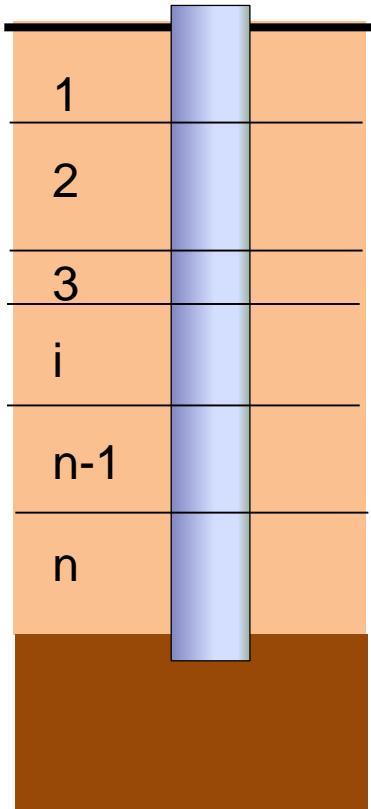


$$Q_{fu} = \sum_1^n q_{fu.i} \cdot A_{f.i}$$

$$q_{fu} = \sigma'_{h.media} \cdot \operatorname{tg} \delta = K \cdot \sigma'_{v.media} \cdot \operatorname{tg} \delta$$

Donde δ = ángulo de fricción suelo - pilote

Tipo de pilote	Angulo de friccion suelo pilote
Liso	$1/3 \phi$
Rugoso	$2/3 \phi$
Muy rugoso	ϕ



K = Coeficiente de empuje (depende de la profundidad, del tipo de pilote)

Tipo de pilote	Coeficiente de Empuje
Perforado o Extracción	$K_0 = 1 - \operatorname{sen} \phi$
Con desplazamiento	$K = 1,8 K_0$



CAPACIDAD DE CARGA FUSTE (Suelos Cohesivos)

$$\tau = c + \sigma'_v \cdot \operatorname{tg} \phi$$

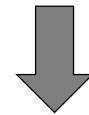
$$q_{fu} = \underbrace{\alpha \cdot c}_{\text{Cohesión}} + \underbrace{K \cdot \sigma'_{v,media} \cdot \operatorname{tg} \delta}_{\text{Fricción}}$$

Cohesión

Fricción

Condición No DRENADA

$$\phi = 0 \quad \rightarrow \quad \tau = c_u$$

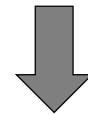


METODO ALFA

$$q_{fu} = \alpha \cdot c_u$$

Condición DRENADA

$$\phi \neq 0 \quad \rightarrow \quad \tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \delta$$



METODO BETA

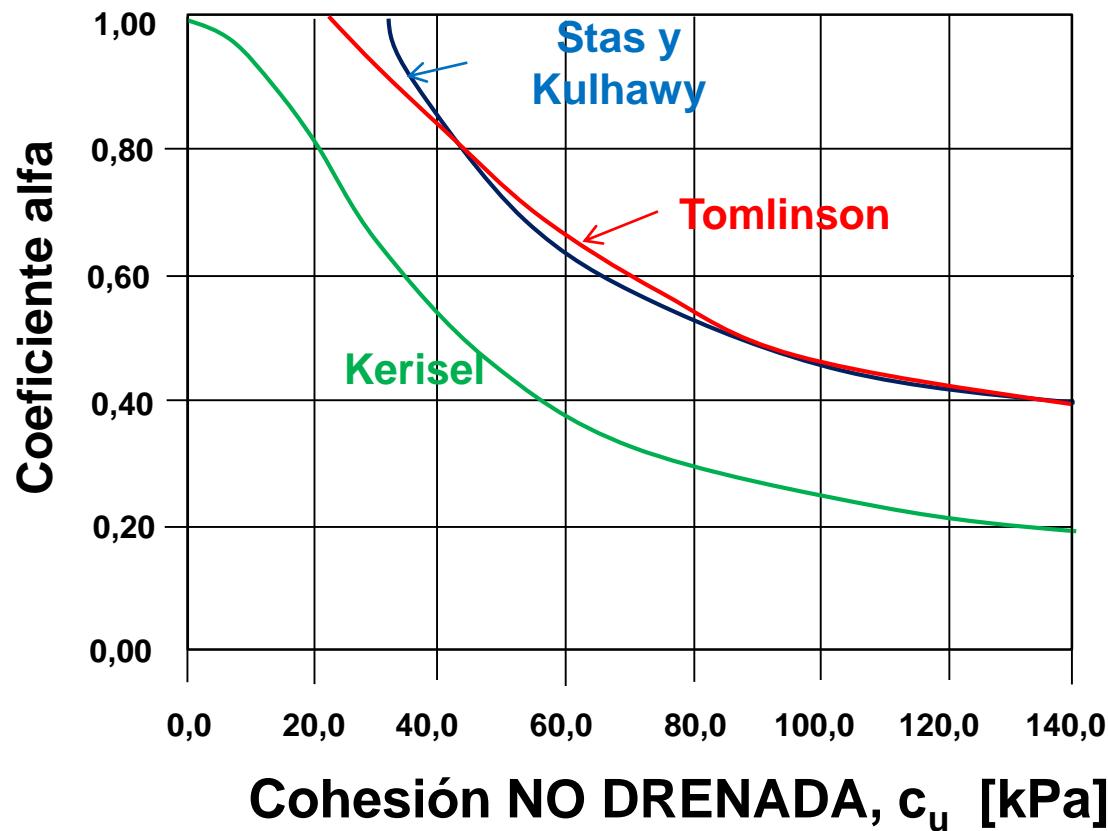
$$q_{fu} = \beta \cdot \sigma'_v$$



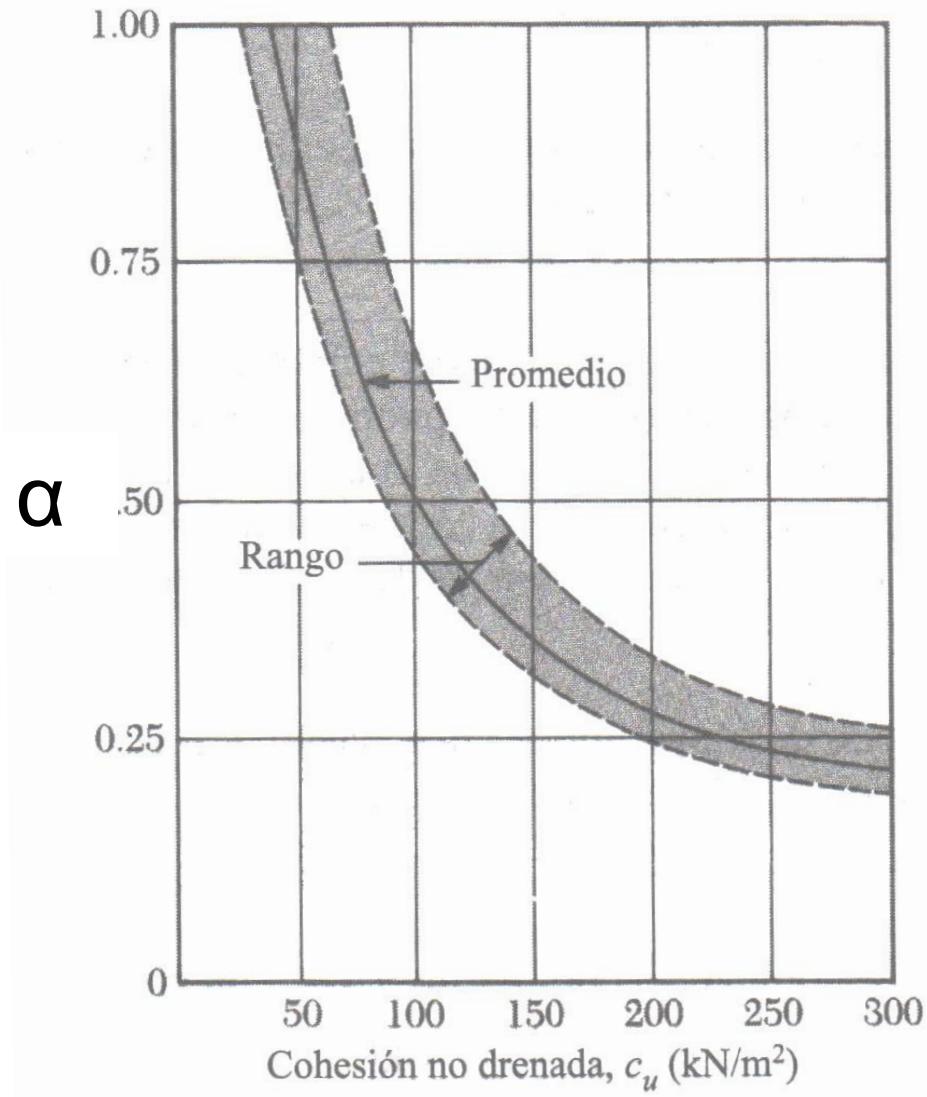
Método Alfa. Condición No Drenada

$$q_{fu} = \alpha \cdot C_u$$

Donde α es un coeficiente que depende de C_u



CAPACIDAD DE CARGA FUSTE



METODO ALFA

$$q_{fu} = \alpha \cdot c_u$$



Método Beta. Condición Drenada

$$q_{fu} = K \cdot \sigma'_{v.media} \cdot \operatorname{tg} \delta$$

$$si \rightarrow \beta = K \cdot \operatorname{tg} \delta$$

$$q_{fu} = \beta \cdot \sigma'_{v.media}$$



CAPACIDAD DE CARGA CONSIDERANDO NÚMERO DE GOLPES SPT

SUELOS GRANULARES

FUSTE

Perforados $q_{F\text{ Ult.}} [\text{kN/m}^2] = 0,20 \text{ a } 0,60 \text{ N}_{\text{corr}}$



Hincados $q_{F\text{ Ult.}} [\text{kN/m}^2] = 2,00 \cdot \text{N}_{\text{corr}}$

PUNTA

Perforados $q_{p\text{ Ult.}} [\text{kN/m}^2] = 150 \text{ N}_{\text{corr}} \leq 1000 [\text{kN/m}^2]$



Hincados $q_{p\text{ Ult.}} [\text{kN/m}^2] = 400 \text{ N}_{\text{corr}} \leq 4000 [\text{kN/m}^2]$

CAPACIDAD DE CARGA

CONSIDERANDO

NÚMERO DE GOLPES SPT



SUELOS COHESIVOS

Número de penetración estándar N	CONSISTENCIA	Resistencia a la compresión simple, qu [kN/m ²]
0 - 2	Muy blanda	0 – 25
2 - 5	Blanda	25 – 50
5 - 10	Medianamente compacta	50 – 100
10 - 20	Compacta	100 – 200
20 – 30	Muy compacta	200 – 400
> 30	Dura	> 400

FUSTE



CAPACIDAD DE CARGA EN LA PUNTA

Fórmulas Empíricas

PILOTES ...

$$q_p = \frac{\psi \cdot N_{corr}}{\beta \cdot FS} (t / m^2)$$

Luciano Decourt, 1989

Parámetros Componentes

	Excav.	Hinc.
β	3	1
FS	3 ~4	2

	Gravas	Arena	Limo	Arcilla
ψ	40	30	20	12

$$q_f = (1/3 N_{corr}) + 1 \quad [tn/m^2]$$



GEOTECNIA II

CIMENTACIONES PROFUNDAS. CAPACIDAD DE CARGA EJERCICIOS



Ejercitación

Datos:

Angulo de Fricción Interna = 35°

Diámetro del pilote = 0,30 metros

Longitud del pilote = 12 metros

Peso unitario = 1,68 t/m³

Número de golpes SPT promedio = 16

1. Usando las fórmulas de Capacidad de carga

$$q_{p\text{ ult.}} = q \cdot Nq^* = \gamma \cdot z \cdot Nq^* = 1,68 \text{ t/m}^3 \cdot 12,0 \text{ m} \cdot 120 = 2419,2 \text{ t/m}^2$$

$$q_{p\text{ lím}} [\text{t/m}^2] = 5,0 \cdot Nq^* \operatorname{tg} \phi = 5,0 \cdot 120 \cdot 0,47 = 420,0 \text{ t/m}^2$$

$$Q_{p\text{ ult.}} = q_{p\text{ lím}} \cdot A_{\text{punta}} = 420,0 \text{ t/m}^2 \cdot \pi \cdot 0,30^2 / 4 = 29,7 \text{ t}$$

Q_{p ult.} = 29,7 t

Ejercitación

Datos:

Angulo de Fricción Interna = 35°

Diámetro del pilote = 0,30 metros

Longitud del pilote = 12 metros

Peso unitario = 1,68 t/m³

Número de golpes SPT promedio = 16

2. Usando las fórmulas de Capacidad de carga con el número de golpes del SPT

$$q_{p\text{ ult.}} [\text{t/m}^2] = 4,0 \cdot N_{\text{corr}} \cdot L/D = 4,0 \cdot 16 \text{ g} \cdot 12,0 \text{ m} / 0,30 \text{ m} = 2560 \text{ t/m}^2$$

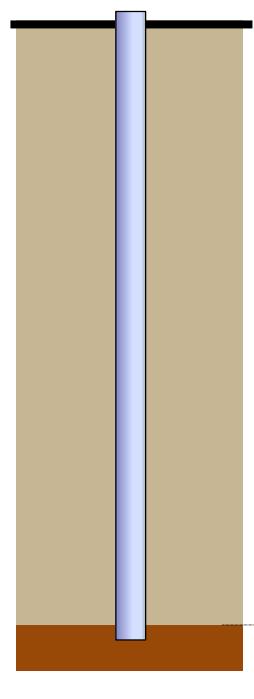
$$q_{p\text{ ult.}} [\text{t/m}^2] = 40,0 \cdot N_{\text{corr}} = 40,0 \cdot 16 \text{ g} = 640 \text{ t/m}^2$$

$$Q_{p\text{ ult.}} = q_{p\text{ lím}} \cdot A_{\text{punta}} = 640,0 \text{ t/m}^2 \cdot \pi \cdot 0,30^2 / 4 = 45,2 \text{ t}$$

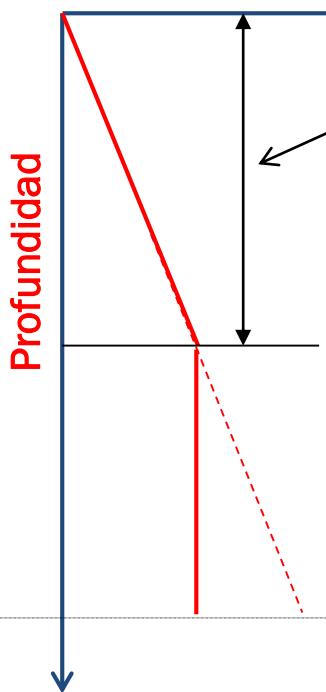
Q_{p ult.} = 45,2 t



CAPACIDAD DE CARGA POR EL FUSTE



Presión efectiva vertical, σ_v



$L' = 15 \text{ a } 20 \text{ diámetros}$

Ejercitación

Datos:

$$\phi = 35^\circ$$

$$\gamma = 1,68 \text{ t/m}^3$$

$$L = 12,0 \text{ m}$$

$$D = 0,30 \text{ m}$$

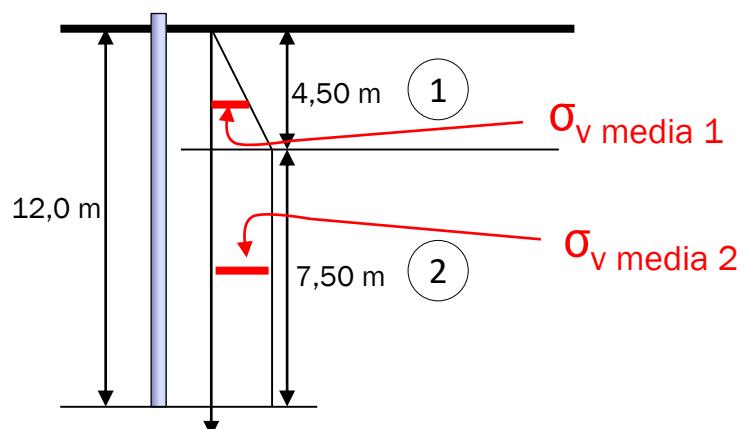
$$L' = 15 \text{ D} = 15 \cdot 0,30 \text{ m} = 4,50 \text{ m}$$

$$\delta = 2/3 \phi = 23^\circ$$

$$K = 1 - \operatorname{sen}\phi = 0,426$$

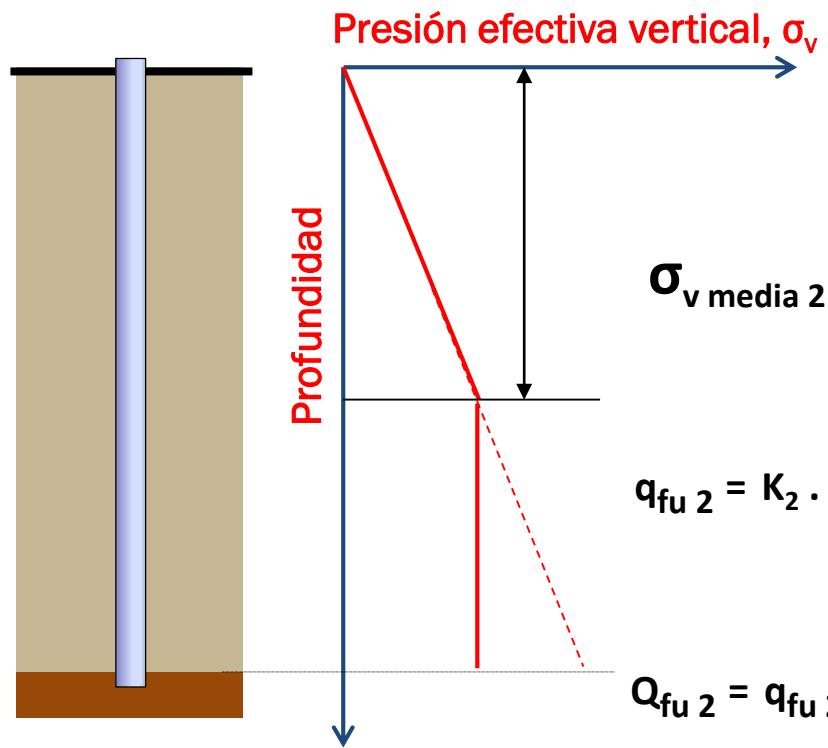
$$\sigma_{v \text{ media } 1} = \gamma \cdot h_1/2 = 1,68 \text{ t/m}^3 \cdot 4,50 \text{ m}/2 = 3,8 \text{ t/m}^2$$

$$q_{fu \text{ 1}} = K_1 \cdot \sigma_{v \text{ media } 1} \cdot \operatorname{tg} \delta_1 = 0,426 \cdot 3,8 \text{ t/m}^2 \cdot 0,42 = 0,68 \text{ t/m}^2$$



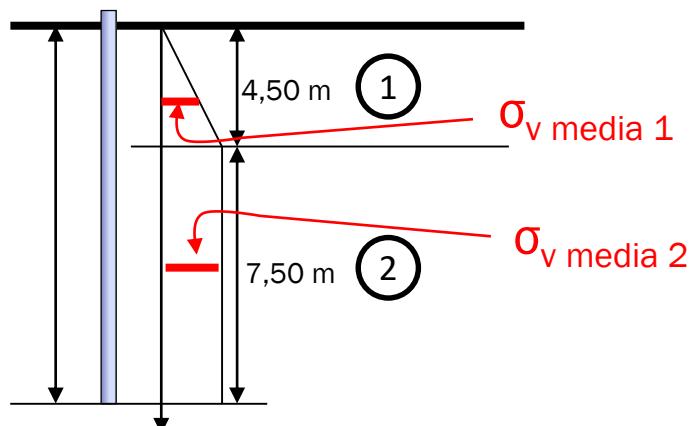
$$Q_{fu \text{ 1}} = q_{fu \text{ 1}} \cdot \pi \cdot D \cdot L_1 = 0,68 \text{ t/m}^2 \cdot \pi \cdot 0,30 \text{ m} \cdot 4,50 \text{ m} = 2,9 \text{ t}$$

$$Q_{fu \text{ 1}} = 2,9 \text{ t}$$



$$q_{fu \ 2} = K_2 \cdot \sigma_v \text{ media } 2 \cdot \operatorname{tg} \delta_2 = 0,426 \cdot 7,6 \text{ t/m}^2 \cdot 0,42 = 1,36 \text{ t/m}^2$$

$$Q_{fu \ 2} = q_{fu \ 2} \cdot \pi \cdot D \cdot L_2 = 1,36 \text{ t/m}^2 \cdot \pi \cdot 0,30 \text{ m} \cdot 7,50 \text{ m} = 9,6 \text{ t}$$



$Q_{fu \ 2} = 9,6 \text{ t}$



CAPACIDAD DE CARGA TOTAL

Ejercitación (continuación)

Datos:

$$\phi = 35^\circ$$

$$\gamma = 1,68 \text{ t/m}^3$$

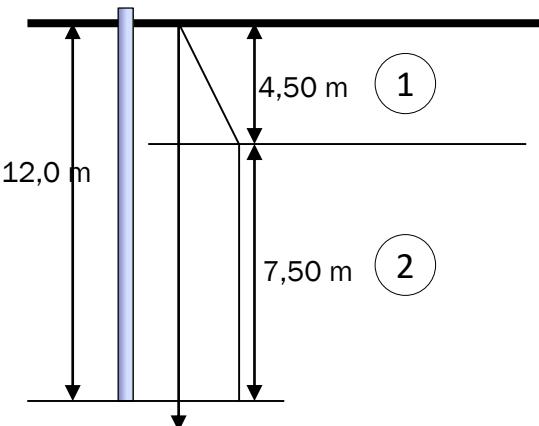
$$L = 12,0 \text{ m}$$

$$D = 0,30 \text{ m}$$

$$L' = 15 D = 15 \cdot 0,30 \text{ m} = 4,50 \text{ m}$$

$$\delta = 2/3 \phi = 23^\circ$$

$$K = 1 - \sin \phi = 0,426$$

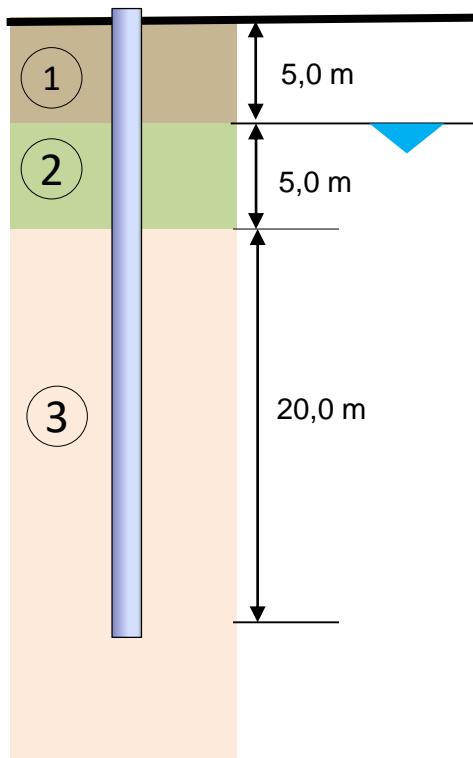


$$Q_{T \text{ u}} = Q_{fu \text{ 1}} + Q_{fu \text{ 2}} + Q_{pu} = 2,90t + 9,60t + 29,7t =$$

$$Q_{T \text{ ult.}} = 42,2 \text{ t}$$



Capacidad de carga a corto plazo (NO DRENADO)



Ejercitación

Datos:

Estrato 1: $\gamma_1=16,0 \text{ kN/m}^3$

$c_{u1}=30 \text{ kN/m}^2$

$\phi'_{1}=30^\circ; c'_{1}=20 \text{ kN/m}^2$

Estrato 2: $\gamma'_2=9,0 \text{ kN/m}^3$

$c_{u2}=30 \text{ kN/m}^2$

$\phi'_{2}=30^\circ; c'_{2}=20 \text{ kN/m}^2$

Estrato 3: $\gamma'_3=10,0 \text{ kN/m}^3$

$c_{u3}=50 \text{ kN/m}^2$

$\phi'_{3}=35^\circ; c'_{3}=30 \text{ kN/m}^2$

$$D = 0,30 \text{ m}$$



Capacidad de carga a corto plazo (NO DRENADO)

PUNTA:

$$Q_{pu} = A_p \cdot q_{pu} = (\pi D^2/4) \cdot 9 \cdot c_u = 0,070 \text{ m}^2 \cdot 9 \cdot 50 \text{ kN/m}^2 = 31,5 \text{ kN}$$

$$Q_{pu} = 3,2 \text{ t}$$

FUSTE: (Estrato 1)

$$Q_{fu1} = A_{f1} \cdot q_{fu1} = (\pi \cdot D \cdot L_1) \alpha_1 \cdot c_{u1} = (4,7 \text{ m}^2) \cdot 0,92 \cdot 30 \text{ kN/m}^2 = 130 \text{ kN}$$

$$Q_{fu1} = 13,0 \text{ t}$$

FUSTE: (Estrato 2)

$$Q_{fu2} = A_{f2} \cdot q_{fu2} = (\pi \cdot D \cdot L_2) \alpha_2 \cdot c_{u2} = (4,7 \text{ m}^2) \cdot 0,92 \cdot 30 \text{ kN/m}^2 = 130 \text{ kN}$$

$$Q_{fu2} = 13,0 \text{ t}$$

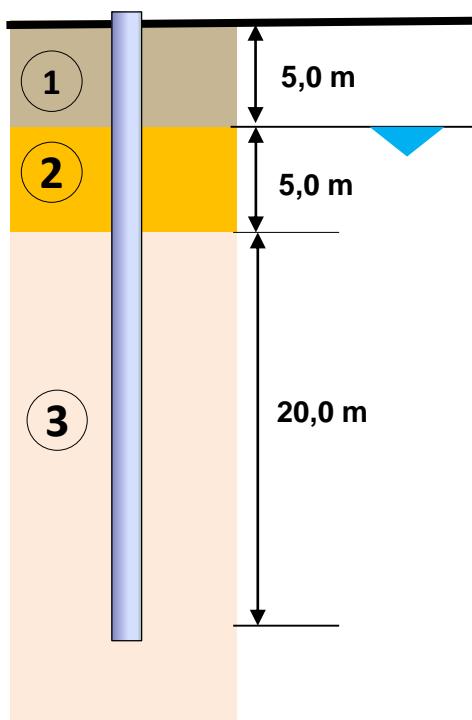
FUSTE: (Estrato 3)

$$Q_{fu3} = A_{f3} \cdot q_{fu3} = (\pi \cdot D \cdot L_3) \alpha_3 \cdot c_{u3} = (18,8 \text{ m}^2) \cdot 0,70 \cdot 50 \text{ kN/m}^2 = 660 \text{ kN}$$

$$Q_{fu3} = 66,0 \text{ t}$$

$$Q_u = Q_{pu} + Q_{fu1} + Q_{fu2} + Q_{fu3} = 3,2 \text{ t} + 13,0 \text{ t} + 13,0 \text{ t} + 66,0 \text{ t}$$

$$Q_u = 101,2 \text{ tn}$$



Capacidad de carga a largo plazo Ejercitación (DRENADO)

Datos:

Estrato 1: $\gamma'_1 = 16,0 \text{ kN/m}^3$;
 $\phi'_1 = 30^\circ$;

$c_{u1} = 30 \text{ kN/m}^2$
 $c'_{1} = 20 \text{ kN/m}^2$

Estrato 2: $\gamma'_2 = 9,0 \text{ kN/m}^3$
 $\phi'_2 = 30^\circ$;

$c_{u2} = 30 \text{ kN/m}^2$
 $c'_{2} = 20 \text{ kN/m}^2$

Estrato 3: $\gamma'_3 = 10,0 \text{ kN/m}^3$;
 $\phi'_3 = 35^\circ$;

$c_{u3} = 50 \text{ kN/m}^2$
 $c'_{3} = 30 \text{ kN/m}^2$

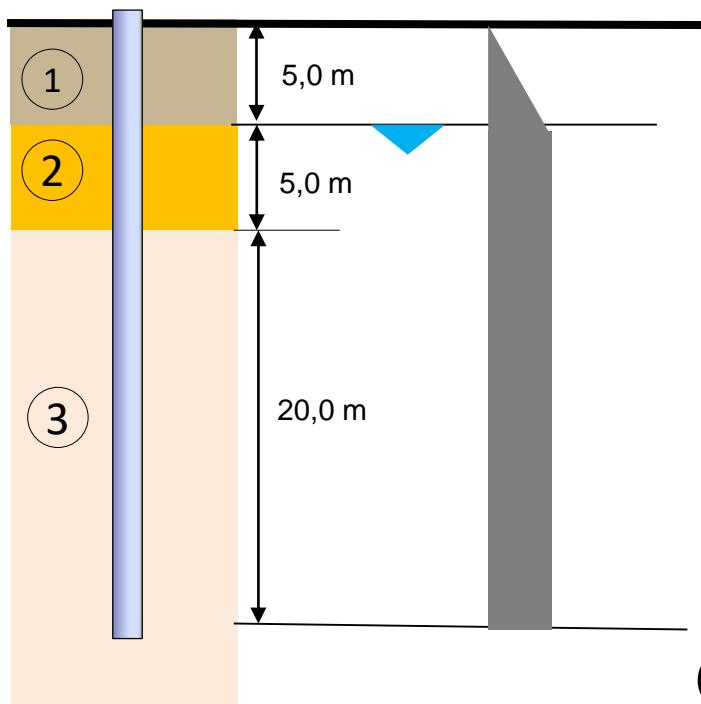
$$D = 0,30 \text{ m}$$

PUNTA:

$$Q_{pu} = A_p q N^*_{q} = (\pi D^2/4) \cdot [c'_{1} \cdot N^*c + q N^*_{q}] = \\ 0,07 \text{ m}^2 \cdot [30 \text{ kN/m}^2 \cdot 200 + (16,0 \text{ kN/m}^3 \cdot 5,0 \text{ m} + 9,0 \text{ kN/m}^3 \cdot 5,0 \text{ m} + 10,0 \text{ kN/m}^3 \cdot 20,0 \text{ m}) \cdot 120] = 0,07 \text{ m}^2 [6000 \text{ N/m}^2 + 39000 \text{ N/m}^2] = 3150 \text{ kN} = 315 \text{ t}$$

$$Q_{pu} = A_p q_{plim} = (\pi \cdot D^2/4) \cdot 50 \cdot N^*q \cdot \operatorname{tg}\Phi = \\ 0,07 \text{ m}^2 \cdot 50 \cdot 120 \cdot 0,57 = 240 \text{ kN} = 24,0 \text{ t}$$

Se adopta $Q_{pu} = 24,0 \text{ t}$



Ejercitación

Datos:

$$D = 0,30 \text{ m}$$

$$L' = 15 \text{ } D = 15 \cdot 0,30 \text{ m} = 4,50 \text{ m}$$

Adopto $L' = 5,0$ metros

$$K_1 = 1 - \text{sen}\phi = 0,50$$

$$K_3 = 1 - \text{sen}\phi = 0,426$$

$$\delta_1 = 20^\circ$$

$$\delta_3 = 23^\circ$$

Capacidad de carga a largo plazo (DRENADO)

FUSTE: (Estrato 1)

$$\begin{aligned} Q_{fu1} &= A_{f1} \cdot q_{fu1} = (\pi \cdot D \cdot L_1) [\alpha_1 \cdot c'_1 + K_1 \cdot \sigma_{v \text{ media } 1} \cdot \text{tg } \delta_1] = \\ &= (4,7 \text{ m}^2) \cdot [(1,0 \cdot 20,0 \text{ kN/m}^2) + 0,50 \cdot (2,5 \text{ m} \cdot 16,0 \text{ kN/m}^3) \cdot 0,36] \\ &= (4,7 \text{ m}^2) \cdot (20,0 \text{ kN/m}^2 + 7,2 \text{ kN/m}^2) = 127,8 \text{ kN} = 12,8 \text{ t} \end{aligned}$$

$$Q_{fu1} = 12,8 \text{ t}$$



FUSTE: (Estrato 2)

$$\begin{aligned} Q_{fu2} &= A_{f2} \cdot q_{fu2} = (\pi \cdot D \cdot L_2) [\alpha_2 \cdot c'_2 + K_2 \cdot \sigma_{v \text{ media } 2} \cdot \tan \delta_2] = \\ &= (4,7 \text{ m}^2) \cdot [(1,0 \cdot 20,0 \text{ kN/m}^2) + 0,50 \cdot (5,0 \text{ m} \cdot 16,0 \text{ kN/m}^3) \cdot 0,36] \\ &= 4,7 \text{ m}^2 \cdot (20,0 \text{ kN/m}^2 + 14,4 \text{ kN/m}^2) = 161,7 \text{ kN} = 16,2 \text{ t} \end{aligned}$$

$$Q_{fu1} = 16,2 \text{ t}$$

FUSTE: (Estrato 3)

$$\begin{aligned} Q_{fu3} &= A_{f3} \cdot q_{fu3} = (\pi \cdot D \cdot L_3) [\alpha_3 \cdot c'_3 + K_3 \cdot \sigma_{v \text{ media } 3} \cdot \tan \delta_3] = \\ &= (18,8 \text{ m}^2) \cdot [(0,7 \cdot 30 \text{ kN/m}^2) + 0,426 \cdot (5,0 \text{ m} \cdot 16,0 \text{ kN/m}^3) \cdot 0,42] = \\ &= 18,8 \text{ m}^2 \cdot [21,0 \text{ kN/m}^2 + 14,3 \text{ kN/m}^2] = 663,6 \text{ kN} = 66,4 \text{ t} \end{aligned}$$

$$Q_{fu2} = 66,4 \text{ t}$$

$$\begin{aligned} Q_{T \text{ u}} &= Q_{pu} + Q_{fu1} + Q_{fu2} + Q_{fu3} = 24,0 \text{ t} + 12,8 \text{ t} + 16,2 \text{ t} + 66,4 \text{ t} \\ &= 119,4 \text{ t} \end{aligned}$$



Corto Plazo – Sistema No Drenado

$$Q_{T\ u} = 101,2 \text{ t}$$

Largo Plazo – Sistema Drenado

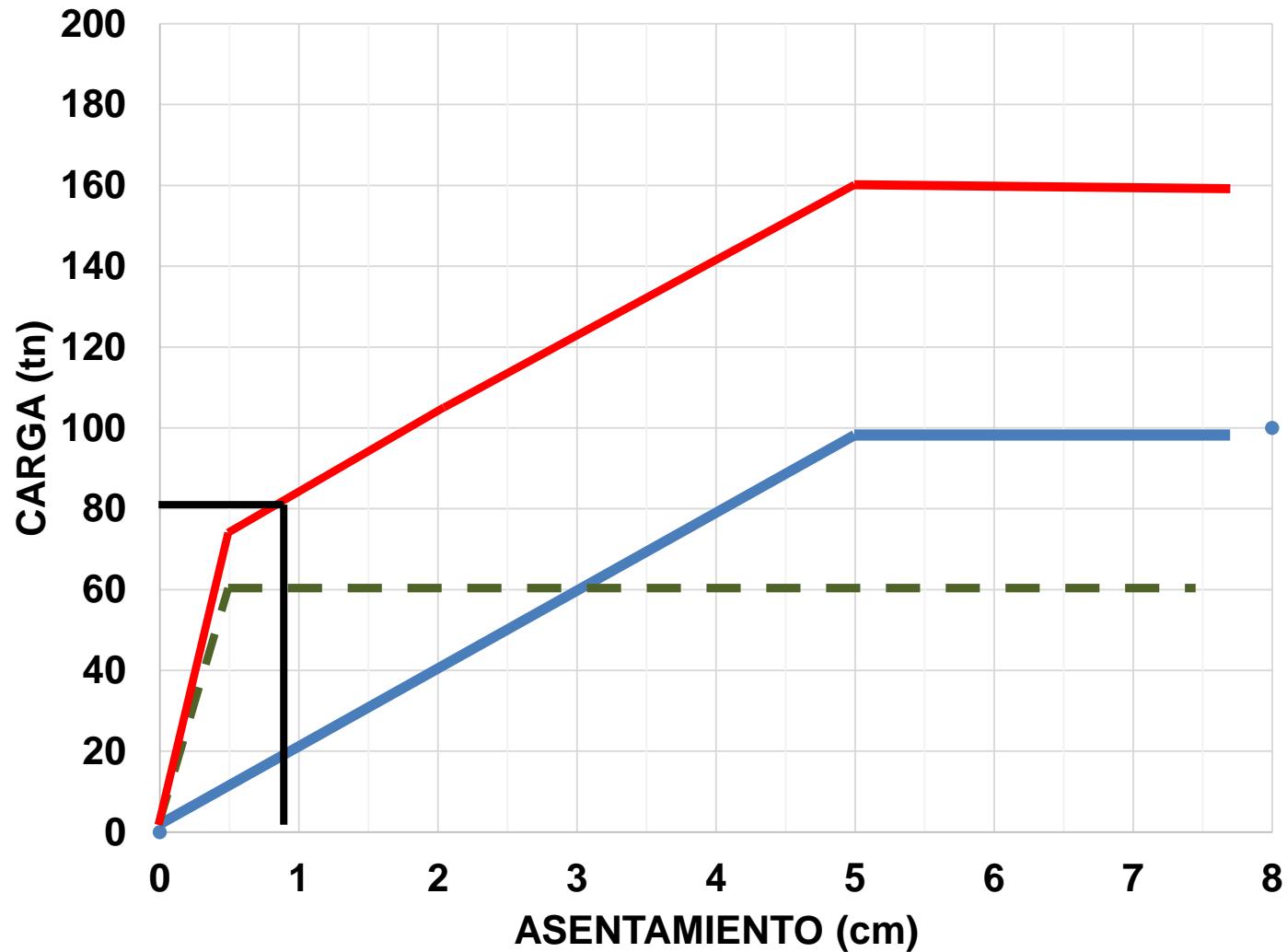
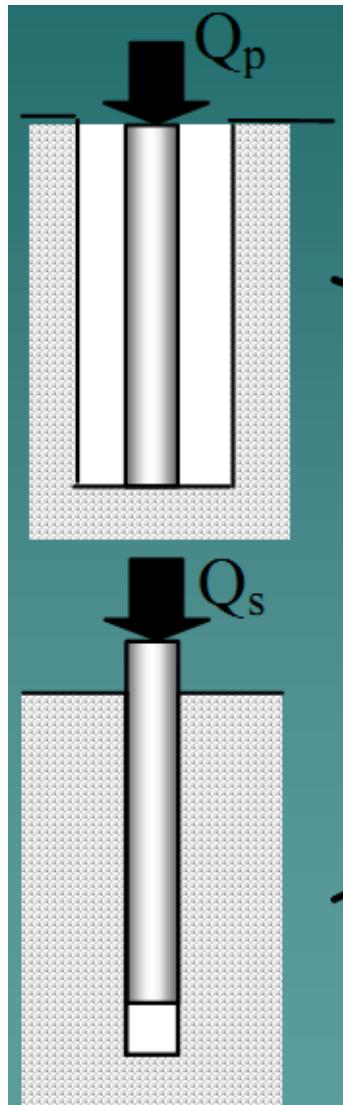
$$Q_{T\ u} = 119,4 \text{ t}$$



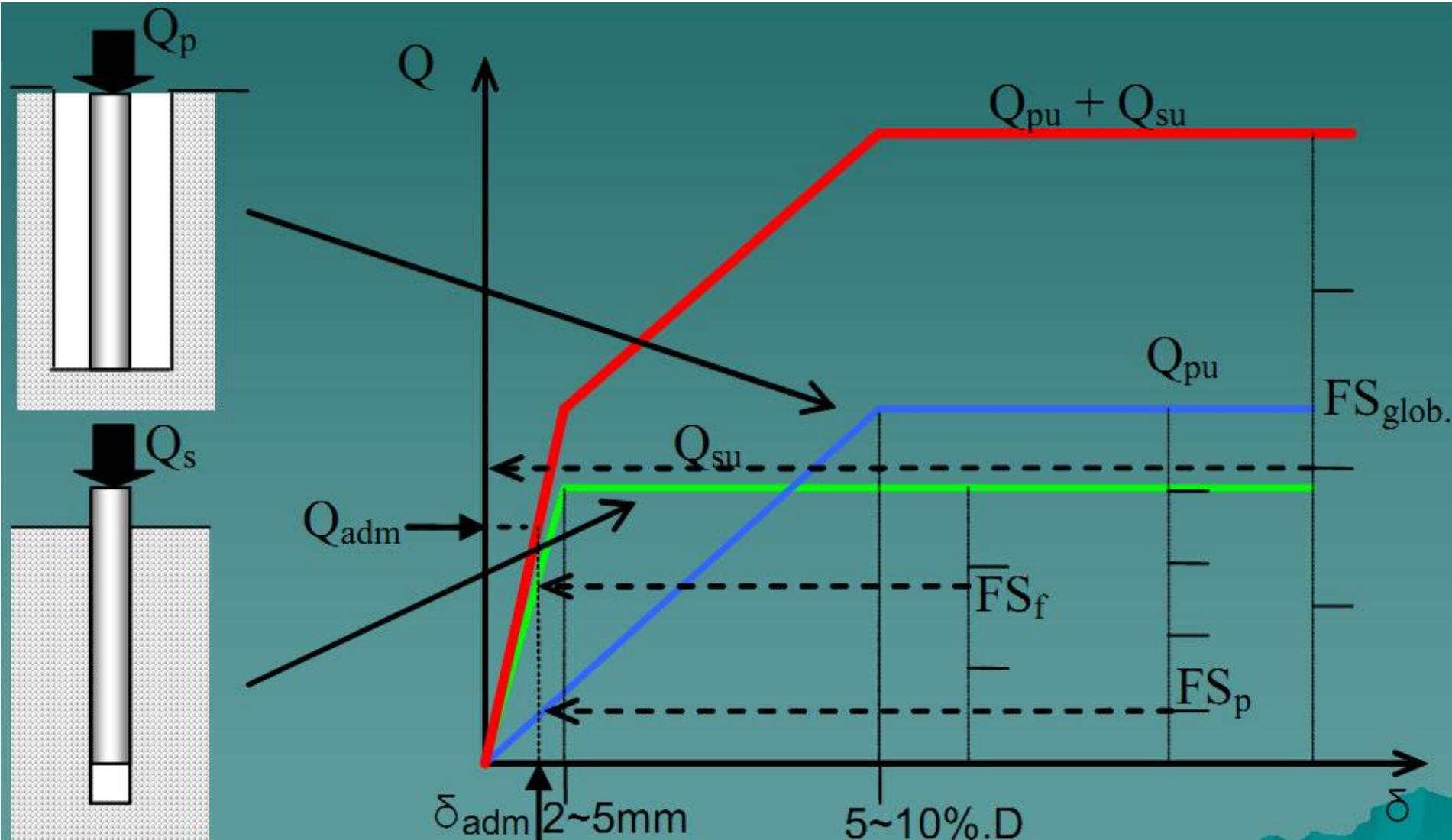
GEOTECNIA II

**CIMENTACIONES PROFUNDAS.
CARGA – DESPLAZAMIENTOS
FACTOR DE SEGURIDAD**

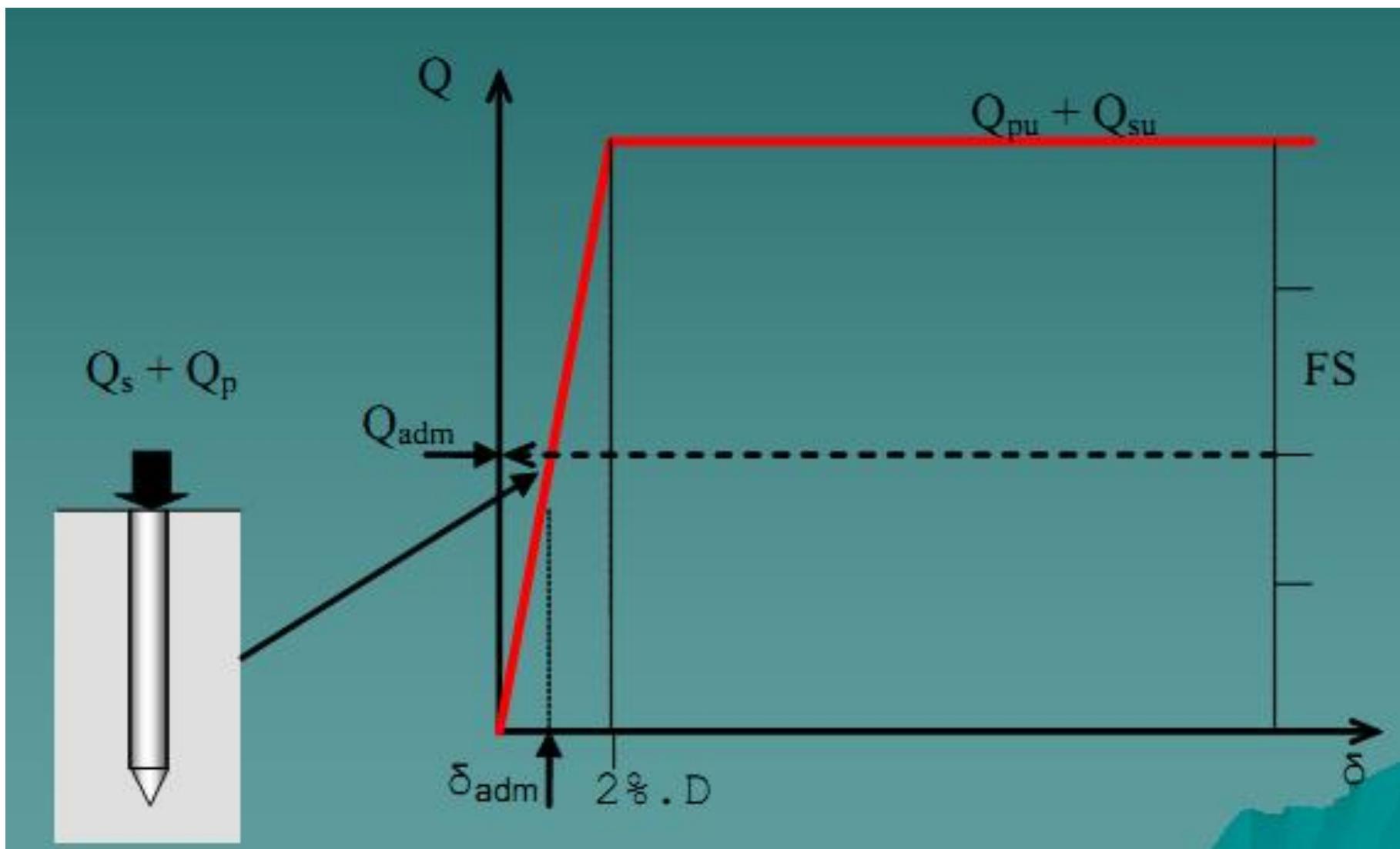
PILOTE EXCAVADO – FORMA DE TRABAJO



PILOTE EXCAVADO – FORMA DE TRABAJO



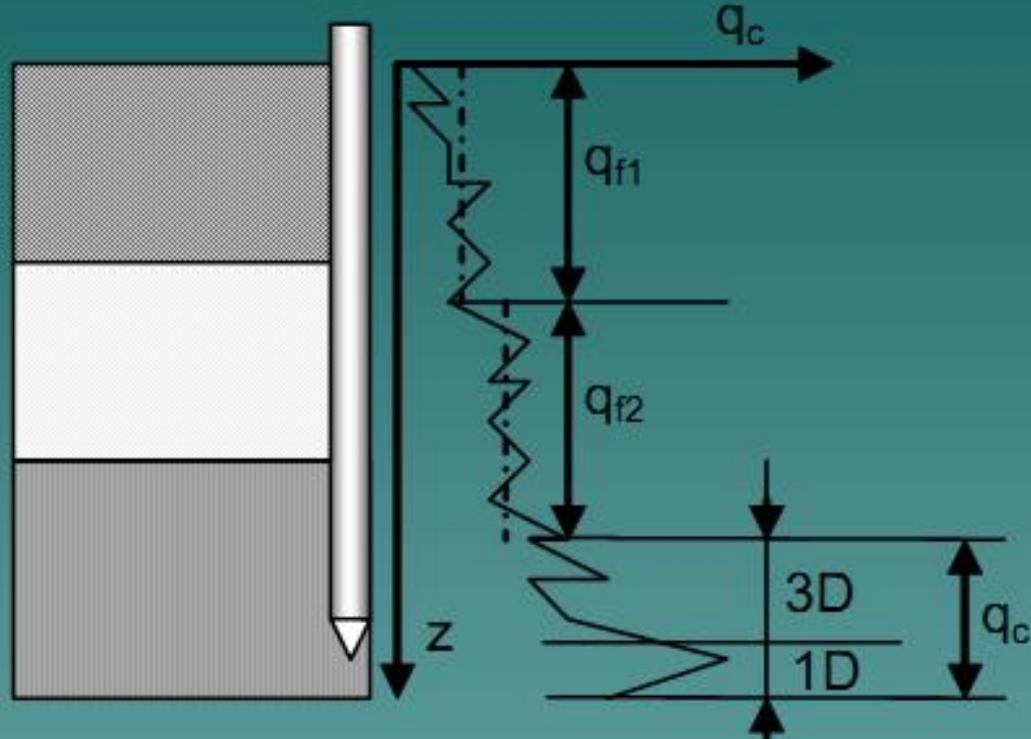
PILOTE HINCADO – FORMA DE TRABAJO



CAPACIDAD DE CARGA SEGÚN CPT

$$Q_{fi} = \frac{q_{ci}}{200} \cdot A_{lat}$$

$$Q_p = q_c \cdot A_p$$



Pilotes Hincados

$$Q_{adm} = \frac{\sum Q_{fi} + Q_p}{2,5}$$

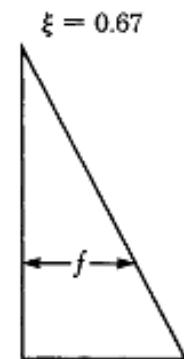
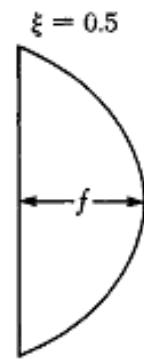
Pilotes Excavados

$$Q_{adm} = \frac{\sum Q_{fi}}{1,5} + \frac{\xi \cdot Q_p}{4}$$

ASENTAMIENTO EN PILOTES INDIVIDUALES

$$S = s_1 + s_2 + s_3$$

$$s_1 = (Q_p + \xi_s Q_s) \cdot \frac{L}{\Omega \cdot E_p}$$



$$s_2 = \frac{q_p \cdot D}{E_s} \cdot (1 - \mu^2) I_p$$

Ip: Factor de influencia, aprox, 0,85

$$s_3 = \frac{f_{sm} \cdot D}{E_s} \cdot (1 - \mu^2) I_{ws}$$

$$I_{ws} = 2 + 0.35 \sqrt{\frac{L}{D}}$$



ASENTAMIENTOS DE PILOTES

→ para arcillas normalmente consolidadas

$$s_2 [mm] = 1,67 \cdot \frac{q_p (kPa) \cdot D_b^{0,7} (m)}{N_{60}^{1,4}}$$

→ para arcillas preconsolidadas

$$s_2 [mm] = 0,556 \cdot \frac{q_p (kPa) \cdot D_b^{0,7} (m)}{N_{60}^{1,4}}$$



GEOTECNIA II

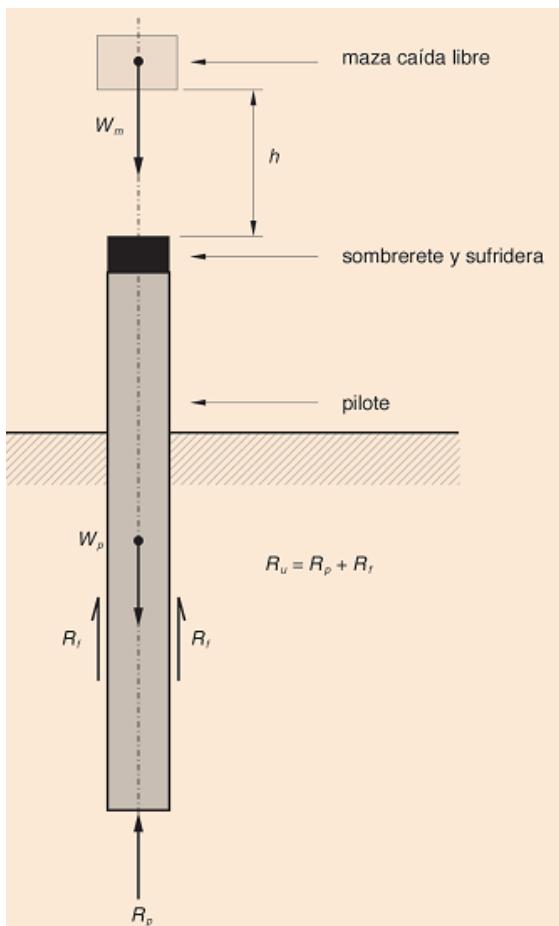
CIMENTACIONES PROFUNDAS.

ECUACIONES DE HINCA DE PILOTES

CAPACIDAD DE CARGA EN LA PUNTA

Pilotes Hincados – Fórmulas Dinámicas

Hiley



$$E_p = P h = P_d e = E_d$$

$$P h = R_d e = R K e$$

$$R = \frac{P h}{K e} \times \frac{P}{P + p}.$$

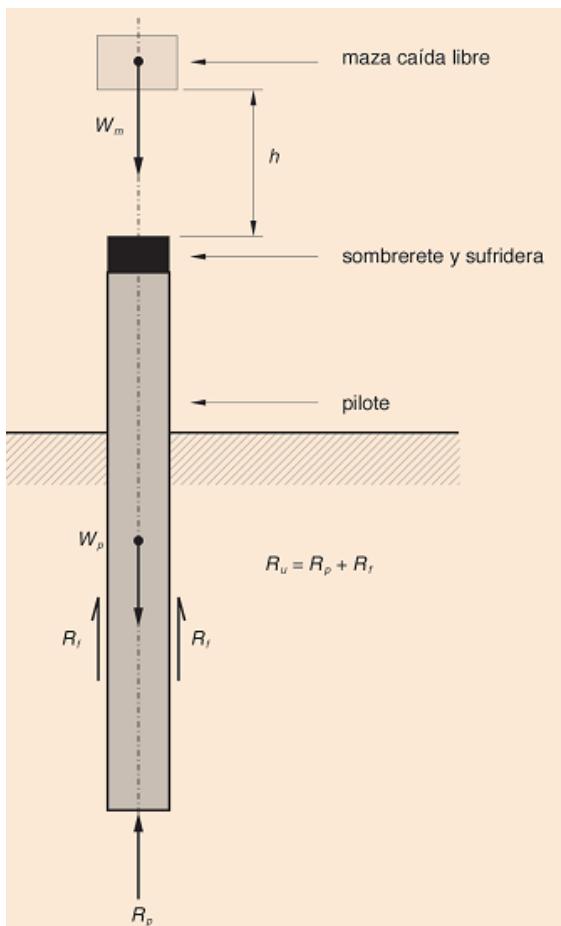
- | | |
|---|---------------------------------------|
| R | Capacidad de carga del pilote hincado |
| P | Peso de la masa que golpea (W) |
| p | Peso del pilote (W _p) |
| h | Altura de caída del peso |
| e | Penetración del pilote con cada golpe |
| K | Factor de seguridad 6 a 10. |



CAPACIDAD DE CARGA EN LA PUNTA

Pilotes Hincados – Fórmulas Dinámicas

Hiley



$$R_u = \frac{\eta \cdot W_m \cdot h}{s + \frac{1}{2}(c_1 + c_2 + c_3)} \cdot \frac{W_m + e^2 \cdot W_p}{W_m + W_p}$$

η = Rendimiento del equipo de hinca.

W_m = Peso de la maza.

h = Altura de la caída de la maza.

e = Coeficiente de restitución.

W_p = Peso del pilote (incluyendo sombrerete y sufridera).

c_1, c_2, c_3 = Acortamientos del sombrerete y la sufridera, del pilote y del terreno.

s = Penetración del pilote debido a un golpe de maza (rechazo).

R_u = Resistencia del terreno al avance de la hinca.

CAPACIDAD DE CARGA EN LA PUNTA

Pilotes Hincados – Fórmulas Dinámicas

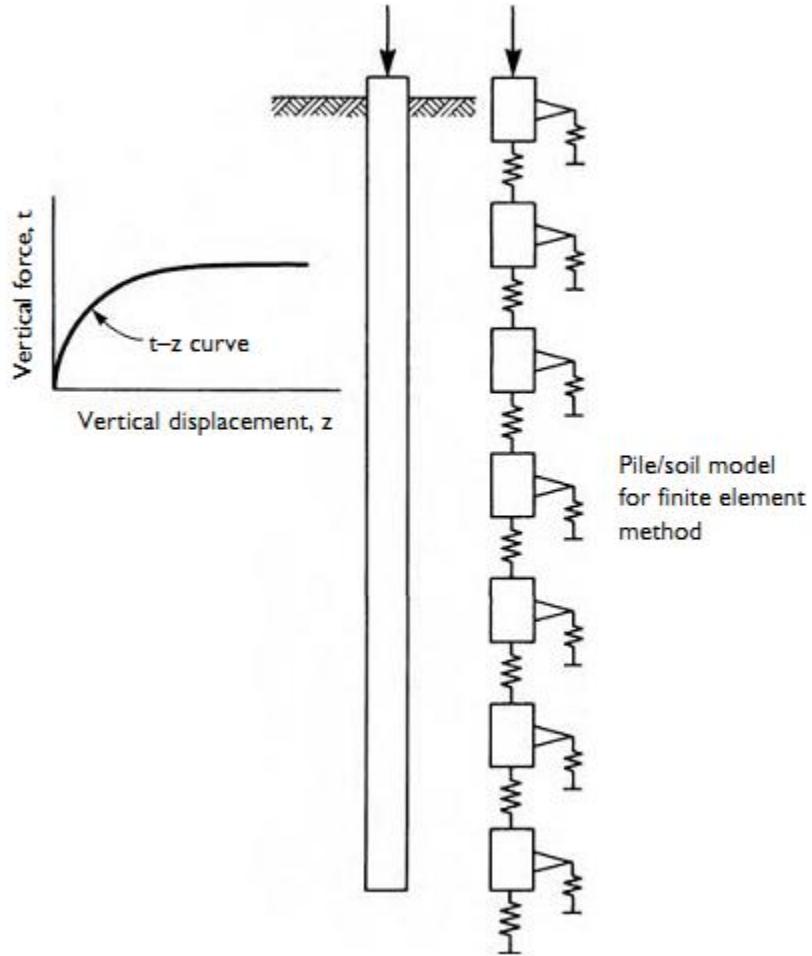
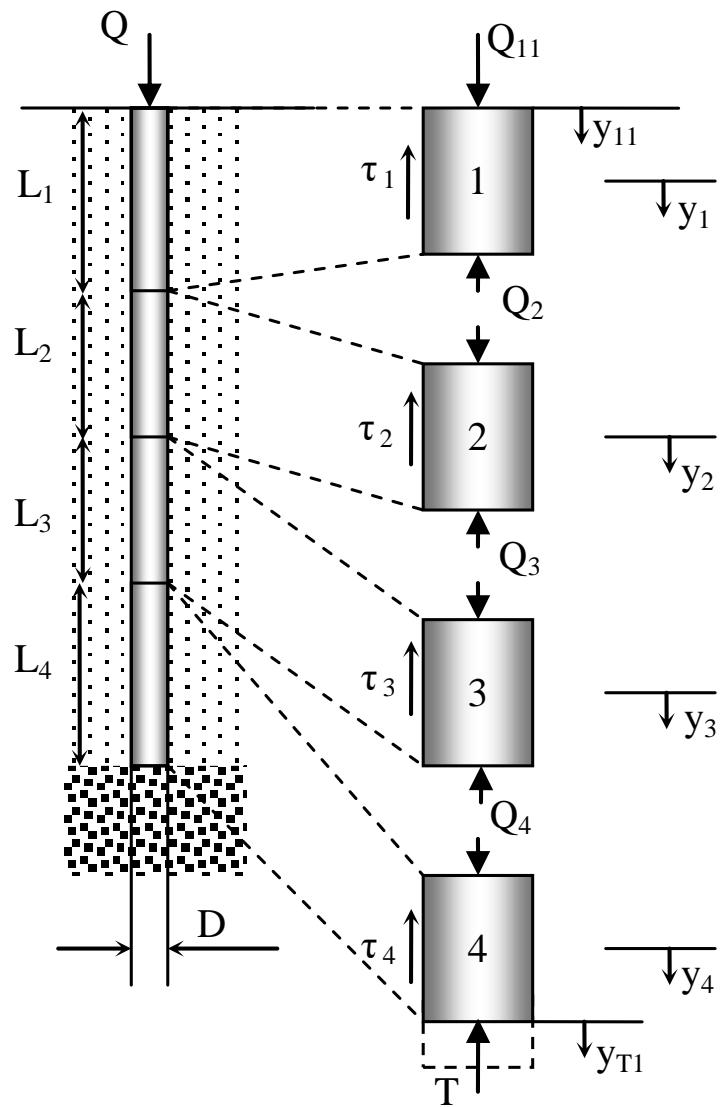
Hiley

- e = Coeficiente de restitución. Depende de la elasticidad del golpe, y puede oscilar entre 0,2 y 0,4, para sufrideras de buenas características mecánicas. Cuando no se colocan sufrideras (hinca de pilotes de acero) el coeficiente de restitución puede alcanzar el valor, $e = 0,55$.
- c_1 = Parámetro de acortamiento del sombrerete. Representa el posible acortamiento del sistema de transmisión del golpe, y puede variar desde 1 mm en hincas cuyo sistema apenas tiene holguras, hasta más de 1 cm en caso contrario.
- c_2 = Parámetro de acortamiento del pilote. El acortamiento del pilote puede calcularse con la expresión siguiente:

$$c_2 = \frac{R_u}{A \cdot E} \cdot L^*$$

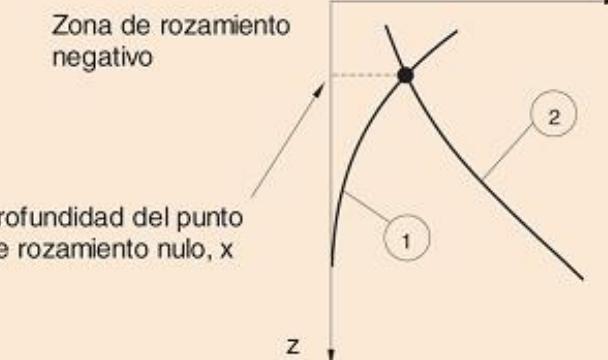
- c_3 = Parámetro de deformación elástica del terreno. Es un parámetro empírico que tiene en cuenta la deformación del terreno antes de provocarse la rotura. Salvo información específica en otro sentido, se adoptará $c_3 = 0,25$ cm.

ASENTAMIENTOS SEGÚN COYLE Y REESE



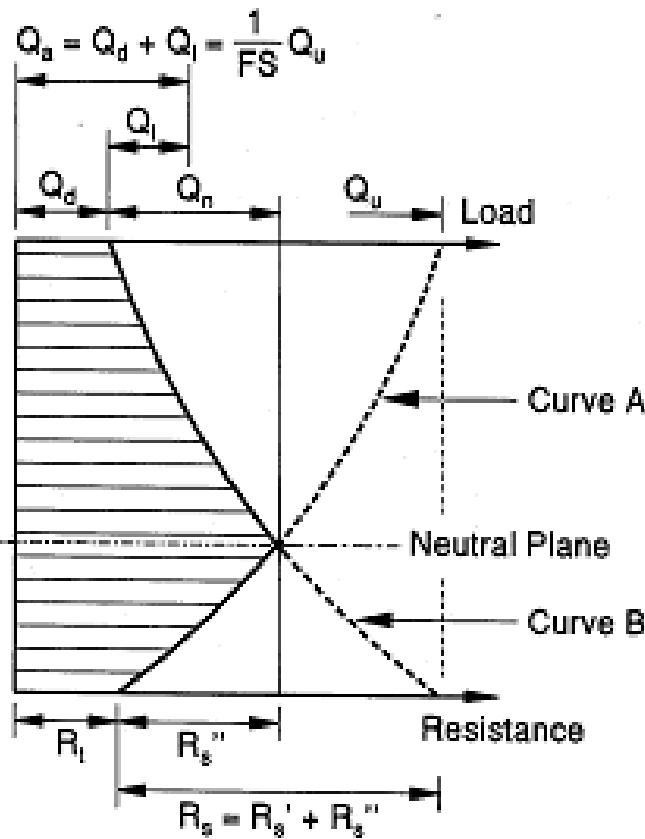
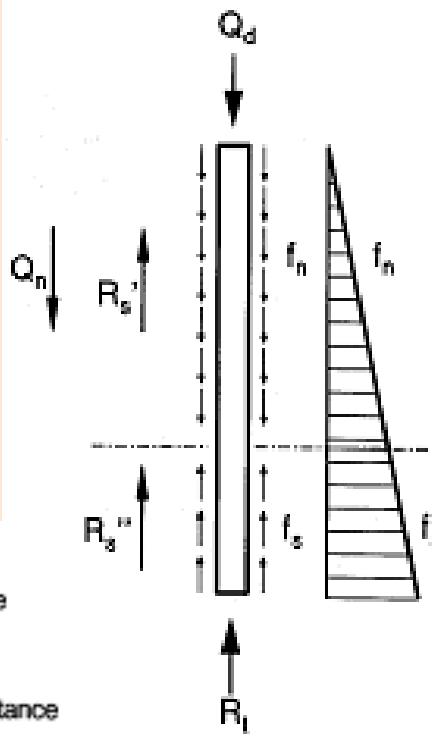
FRICCIÓN NEGATIVA

DETERMINACIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE LA ZONA DE ROZAMIENTO NEGATIVO



Q_s = Design Load
 Q_d = Dead Load
 Q_l = Live Load
 Q_n = Drag Load
 Q_u = Ultimate Capacity
 FS = Factor of Safety

R_s = Shaft Resistance
 R_s' = Negative Shaft Resistance
 R_s'' = Positive Shaft Resistance
 R_t = Toe Resistance
 f_n = Unit Negative Shaft Resistance
 f_s = Unit Shaft Resistance



FRICCIÓN NEGATIVA



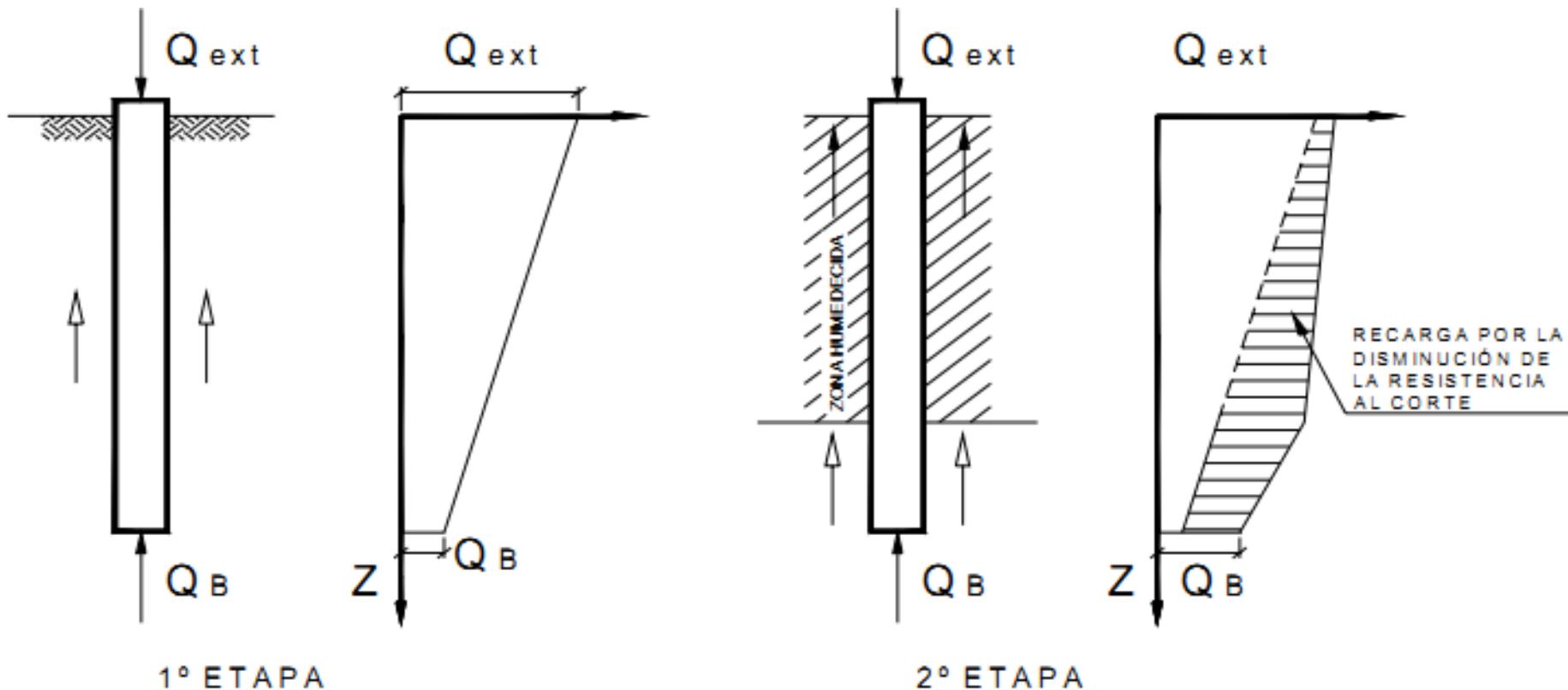


GEOTECNIA II

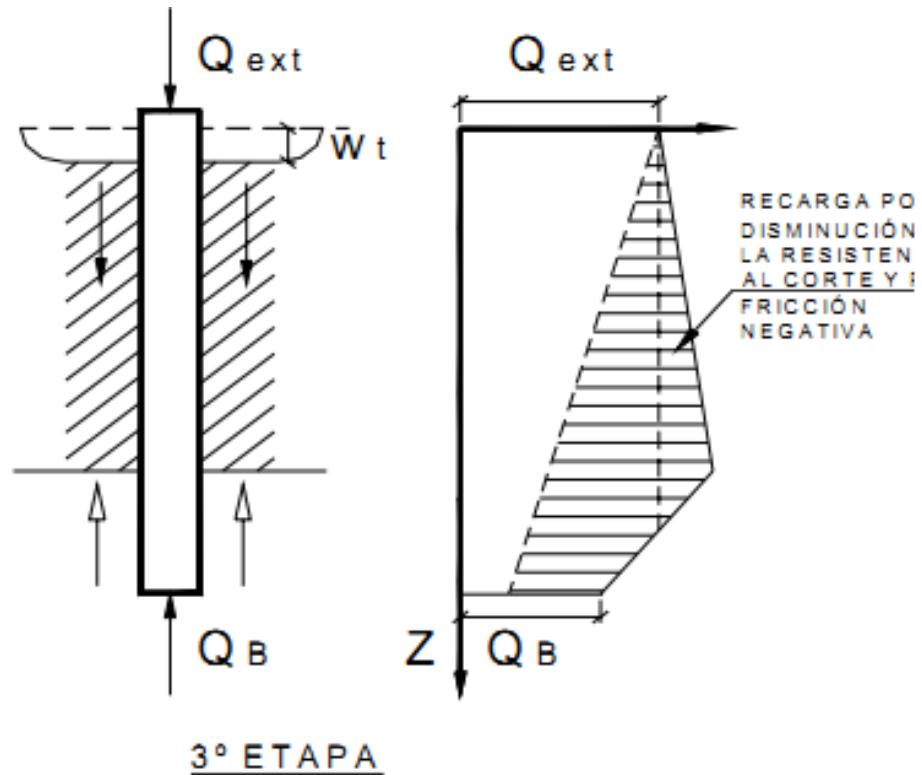
CIMENTACIONES PROFUNDAS.

PILOTES EN SUELOS COLAPSABLES

SUELOS COLAPSABLES



SUELOS COLAPSABLES



$$Q_{ext} + \pi D_f H \tau_{max,1} = \pi D_f (L - H) \tau_{max,2}$$

$$L = (1 + \varepsilon)H + \frac{Q_{ext}}{\pi D_f \cdot \tau_{max,2}}$$

$$\varepsilon = \frac{\tau_{max,1}}{\tau_{max,2}}$$



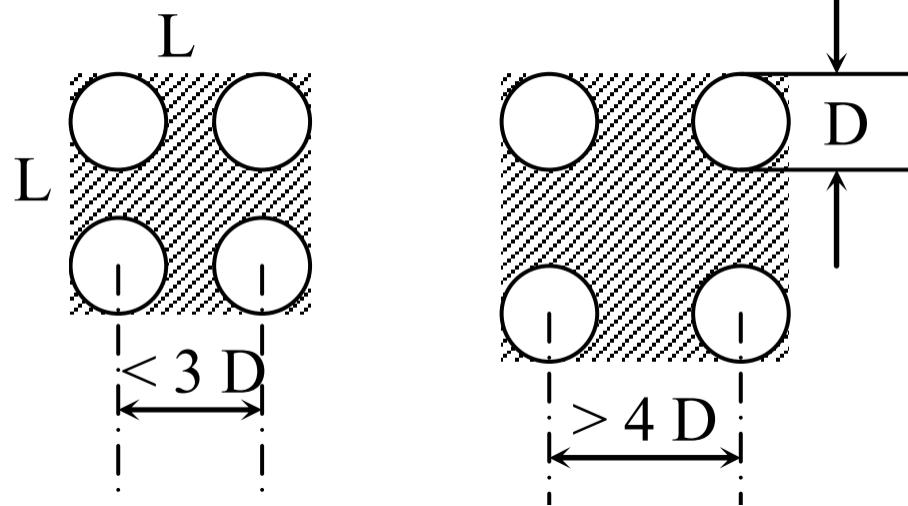
GEOTECNIA II

CIMENTACIONES PROFUNDAS.

GRUPOS DE PILOTES

GRUPO DE PILOTES CAPACIDAD DE CARGA Y ASENTAMIENTOS

$$Q_{grupo} = \eta \cdot \sum Q_{indiv.}$$



Ejemplo L = 3 D; Sep S = 2 D

Superficie Lateral Específica
n Pilotes = $4 \times \pi \times D = 12,5 D$
Grupo = $4 \times L = 4 \times 3 \times D = 12,0 D$

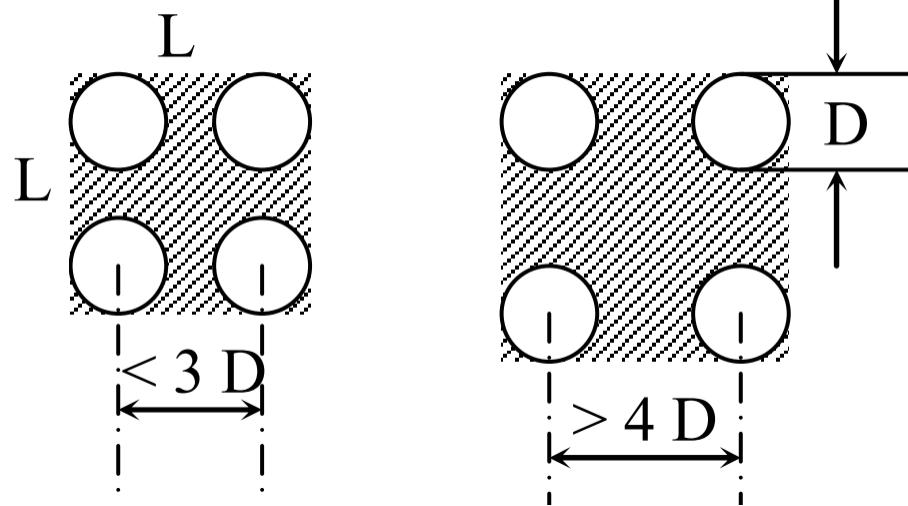
Superficie en la Punta
N Pilotes = $4 \times \pi \times (D/2)^2 = 3,14 D^2$
Grupo = $L \times L = (3 D)^2 = 9,0 D^2$

El suelo en el interior se desplaza con los pilotes → La superficie de resistencia del grupo es mucho menor que la calculada

La base de apoyo del grupo es mayor, las deformaciones son mayores, la absorción de carga es menor

GRUPO DE PILOTES CAPACIDAD DE CARGA Y ASENTAMIENTOS

$$Q_{grupo} = \eta \cdot \sum Q_{indiv.}$$



Ejemplo $L = 5 D$; Sep $S = 4 D$

Superficie Lateral Específica

$$n \text{ Pilotes} = 4 \times \pi \times D = 12,5 D$$

$$\text{Grupo} = 4 \times L = 4 \times 5 \times D = 20,0 D$$

Superficie en la Punta

$$N \text{ Pilotes} = 4 \times \pi \times (D/2)^2 = 3,14 D^2$$

$$\text{Grupo} = L \times L = (5 D)^2 = 25,0 D^2$$

Si la separación es grande el suelo entre pilotes no acompaña a los pilotes → La máxima resistencia es la de los pilotes individuales

La base no se comporta en conjunto



GRUPO DE PILOTES CAPACIDAD DE CARGA Y ASENTAMIENTOS

Pilotes hincados en arena $\rightarrow Q_{grupo} = \Sigma Q_{indiv.}$

Pilotes excavados en arena $\rightarrow Q_{grupo} = 0,7 \cdot \Sigma Q_{indiv.}$

Pilotes en arcilla $\rightarrow Q_{grupo} = \eta \cdot \Sigma Q_{indiv.}$

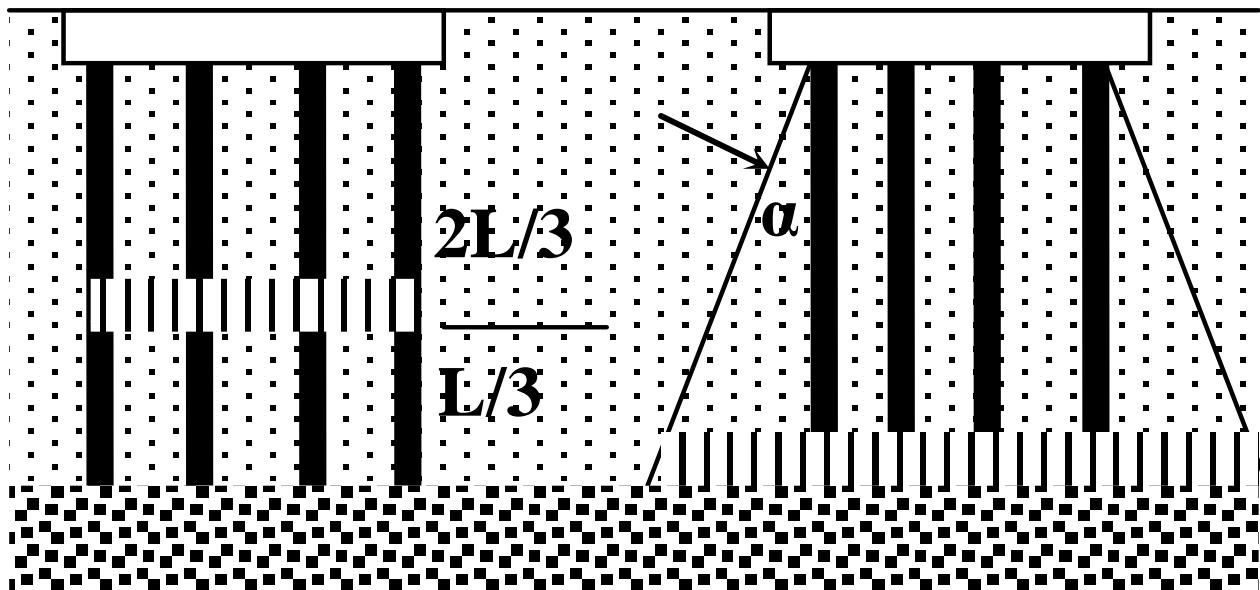
Siendo

$$\eta = 1 - \frac{\arctg(s/D)}{\pi} \cdot \frac{[m(n-1) + n(m-1) + \sqrt{2}(m-1)(n-1)]}{m \cdot n}$$

$m = \text{nº de pilotes por fila}$ y $n = \text{nº de pilotes por columna}$

GRUPO DE PILOTES

CAPACIDAD DE CARGA Y ASENTAMIENTOS



Tipo de suelo	α
Arcilla blanda	10°
Arcilla compacta	20°
Arenas	30°