

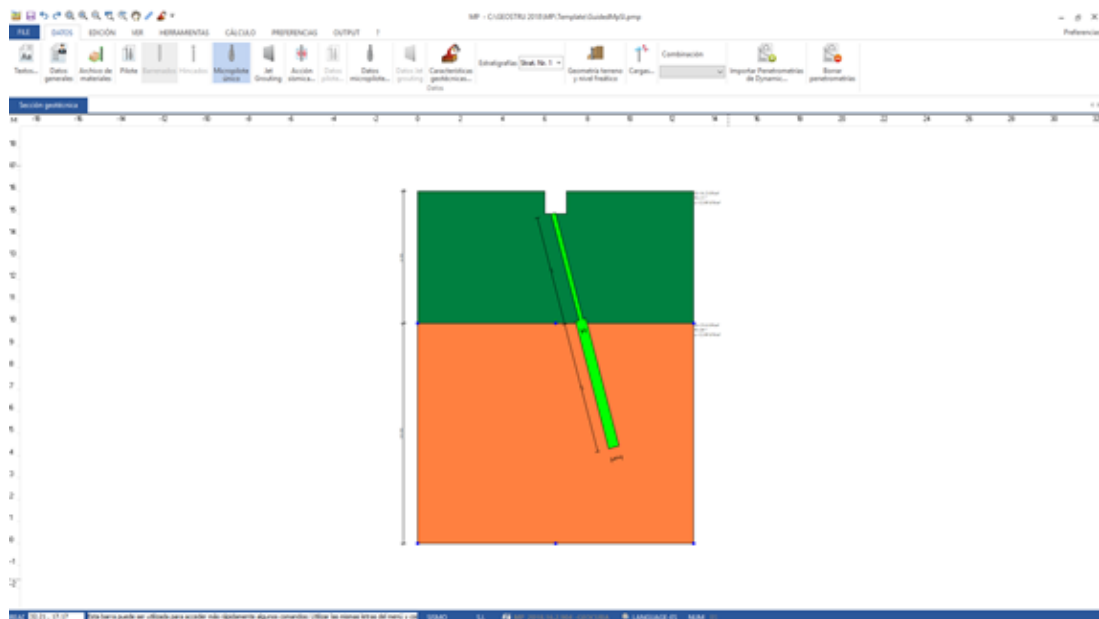
MP

Part I MP – Micropilotes y Pilotes	1
1 Unidad de medida	2
2 Conversiones	3
Part II Screw piles	3
Part III Presiométrico	8
Part IV Estructuras para plantas fotovoltaicas	11
Part V Datos Generales	12
Part VI Archivo de materiales	14
Part VII Características geotécnicas	15
Part VIII Acción sísmica	18
1 Eurocódigo 8	19
Part IX Pilote	20
1 Datos Pilote	22
Part X Micropilote	29
1 Datos micropilotes	30
Part XI Geometría terreno y n. Freático	33
Part XII Cargas	34
1 Importación de cargas desde Microsoft Excel	35
Part XIII Cálculo Cap. de carga	39
Part XIV Cálculo asientos	42
Part XV Cálculo estructural	43
1 Método Elementos Finitos	46
2 Hierros ejecutivos	49
Part XVI Diagramas solicitaciones	52
Part XVII Cap. de carga fórmulas dinámicas	53
Part XVIII Cap. de carga de grupo	55
Part XIX Notas teóricas	56

1 Carga límite de punta	56
2 Carga límite lateral	61
3 Cap. de carga fórmulas dinámicas	64
4 Carga límite horizontal	65
5 Método de Bustamante y Doix	68
6 Carga crítica micropilote (estabilidad lateral)	70
7 Rozamiento negativo	71
8 Corrección sísmica y interacción cinemática	72
9 Asiento elástico	73
10 Aiento método hiperbólico	74
11 Micropilotes/Pilotes en condiciones de ejercicio	78
Part XX Normativa	80
1 Normativa de referencia	80
Part XXI Comando de Short cut	80
Part XXII Geoapp	81
1 Seccion Geoapp	82
Part XXIII Bibliografia	82
Part XXIV Contacto	82
Index	0

1 MP – Micropilotes y Pilotes

Redes de **Micropilotes y Pilotes** es un programa para el cálculo de la **capacidad de carga** del terreno de cimentación de un pilote o micropilote gravado con una distribución cualquiera de cargas (momento, esfuerzo normal y corte). Efectúa además el cálculo estructural dimensionando la armadura longitudinal y los estribos. Cálculo de la capacidad portante con fórmulas estáticas y dinámicas. Asientos con **Fleming 1992, Poulos y Davis 1968**. Carga última de inestabilidad. Capacidad portante de grupos de pilotes. Cálculo de materiales.



- Hincados y perforados
- Cálculo de pilotes tronco cónico
- Cálculo de la carga última de punta según: Berezantzev, Hansen, Janbu, Vesic, Terzaghi
- Cálculo de la capacidad de carga lateral según Tomlinson
- Correcciones sísmicas según Okamoto y Vesic
- Presencia de sobrecarga en el plano del terreno
- Presencia de nivel freático
- Análisis a corto y largo plazo
- Cálculo del módulo de reacción horizontal según Chiarugi-Maia
- Asientos según Davis-Poulos, Bowles, Fleming 1992
- Análisis de las sollicitaciones con Elementos Finitos no lineales: es posible asignar condiciones de contorno y acciones nodales
- Vista de diagramas momento de flexión, corte, deformada

- Cálculo estructural de la sección con Tensiones Admisibles y Estado Límite Ultimo
- Cálculo de la carga última horizontal
- Estimación del momento de rotura de la sección
- Cálculo de pilotes de cimentación para muelles

Tipos de micropilotes (Se pueden calcular micropilotes con varias técnicas de inyección)

- Tubifix y Radice;
- Análisis a corto y largo plazo
- Cálculo del módulo de reacción horizontal según Chiarugi-Maia
- Cedimenti secondo Davis-Poulos, Bowles, Fleming 1992
- Asientos según Davis-Poulos, Bowles, Fleming 1992
- Cálculo estructural de las secciones con Tensiones Admisibles y Estado Límite Ultimo

1.1 Unidad de medida

El programa permite operar, para las unidades de medidas, con el sistema técnico o con aquel internacional. Dicha opción puede ser seleccionada desde el menú Preferencias comando Opciones.

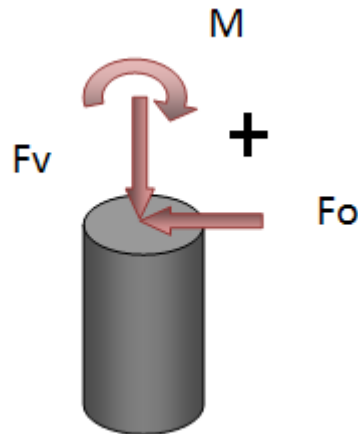


Nota: La elección del sist. de medida tiene que ser realizada antes de generar el archivo de trabajo; una vez seleccionada una determinada medida para un proyecto no podrá ser cambiada luego.

1.2 Conversiones

Cargas

Para las conversiones sobre carga se hacer referencia a la siguiente figura:



Convención positiva de cargas

Movimientos

Positivos si son dirigidos hacia la derecha.

Rotaciones

Positivas en sentido horario.

2 Screw piles

Screw-Piles and Helical Anchors in Soils

This Guide should be used for preliminary calculations only and applies only to the deep installation of Screw-Piles and Helical Anchors in uniform soils. It is only applicable for design when the depth (D) to the top helical plate is greater than 10 times the diameter (B) of the helical plate and the minimum depth of embedment of the helical plate is 5 ft. The methods described in this Guide provide an estimate of the ULTIMATE capacity; the Engineer must apply an appropriate Factor of Safety to obtain the ALLOWABLE capacity.

General Bearing Capacity Equation

At the present time, the design of Screw-Piles and Helical Anchors generally follows the traditional theory of General Bearing Capacity used for compression loading of

foundations. Terzaghi's general bearing capacity equation for determining ultimate bearing capacity, as given in most Foundation Engineering textbooks is often stated as:

$$q_{ult} = c' \cdot N_c + \gamma' \cdot D \cdot N_q + 0.5 \cdot \gamma' \cdot B \cdot N$$

where:

q_{ult} = Ultimate Unit Bearing Capacity

c' = effective cohesion

q' = effective overburden stress = $\gamma' D$

γ' = effective unit weight of soil

D = depth

B = diameter of helix

N_c, N_q, N = bearing capacity factors

Notes on use of Terzaghi's General Bearing Capacity equation:

1. Because B is considered very small for Screw-Piles and Helical Anchors, relative to most concrete footings, some engineers choose to ignore the term $0.5 \gamma' B N$ in design.
2. In saturated clays under compression loading, Skempton's (1951) Bearing Capacity Factor for shallow round helical plates may also be used:

$$N_c = 6 (1 + 0.2 \cdot D/B) < 9$$

3. The unit weight of the soil is the total (wet) unit weight if the helical plate is above the water table and the buoyant unit weight if the helical plate is below the water table.
4. For saturated clay soils with $\gamma' = 0$, $N_q = 1.0$; For sands, N_q is a function of friction angle, ϕ' .
5. In all cases, for both compression and tension loading, the upper limit of capacity is governed by the mechanical strength of the Screw-Pile or Helical Anchor as provided by the manufacturer.

Contribution of Shaft to Capacity

Many Screw-Piles and Helical Anchors are manufactured with square central shafts. For these piles/anchors, the contribution of the shaft to the ultimate capacity is usually ignored and the total capacity is only calculated from the bearing capacity of the helical plate(s). For Screw-Piles and Helical Anchors with round steel central shafts the shaft section between plates for multi-helix elements is ignored, but the shaft above the top plate may be included in design, at least for that section of the shaft in full contact with the soil as discussed in Section 3.

DEEP Single-Helix Screw-Piles and Helical Anchors

Deep installations of Screw-Piles and Helical Anchors are generally more common than shallow installations, provided there is sufficient soil depth to perform the installation. The reason is that higher load capacities are generally developed from a deeper installation in the same soil.

Compression Loading of Screw-Piles in CLAY

Under both compression and tension loading of deep Screw-Piles and Helical Anchors in clay, the ultimate capacity is obtained using the Total Stress Analysis (TSA) and undrained shear strength. In saturated clays with $\phi' = 0$ and $c = s_u$ the bearing capacity equation is often give as:

$$Q_H = A_H \cdot N_c \cdot s_u$$

where:

Q_H = Ultimate Bearing Capacity in Compression

s_u = undrained shear strength

N_c = Bearing Capacity Factor for clays with $\phi' = 0$; for round plates

A_H = Effective area of the helical plate For deep installations,

Compression Loading of Screw-Piles in SAND

For deep installations of single-helix Screw-Piles and Helical Anchors in sand the ultimate capacity is obtained using the Effective Stress Analysis (ESA) from:

$$Q_H = A_H \cdot (\sigma'_{vo} \cdot N_q + 0.5 \cdot \gamma' \cdot B \cdot N)$$

where:

σ'_{vo} = vertical effective stress at the depth (D) of the helix = $\gamma' D$

N_q and N = bearing capacity factors

B = Diameter of the helical plate

γ' = effective unit weight of the soil

The bearing capacity factor N_q is usually obtained from values used for determining the end bearing capacity for deep pile foundations. There have been a number of

different recommendations for estimating N_q which are available in most foundation engineering textbooks, e.g., Fang & Winterkorn 1983:

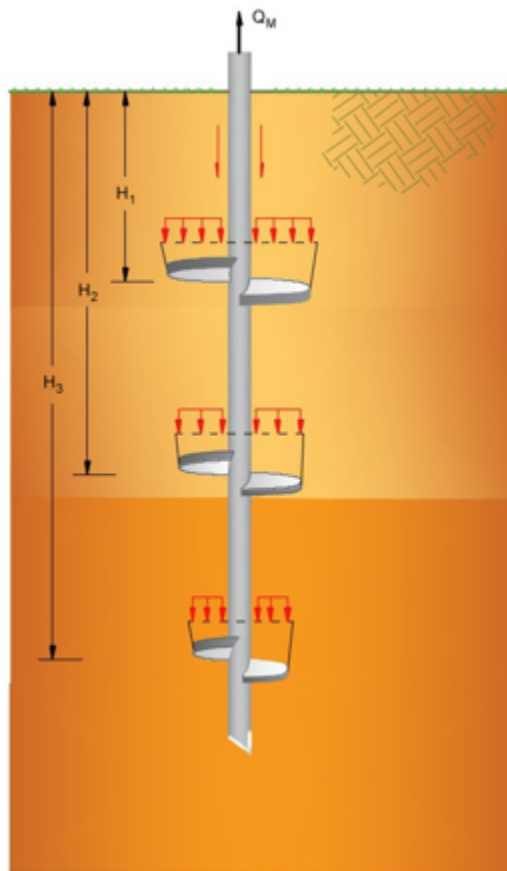
$$N_q = 0.5 \cdot (12 \cdot \sigma')^{1/54}$$

Because the area of the plate is usually small, the contribution of the “width” term ($0.5 \cdot \sigma' \cdot B \cdot N$) to ultimate capacity is also very small and the width term is often ignored. This reduces to

$$Q_H = 0.5 \cdot A_H \cdot [\sigma'_{vo} \cdot (12 \cdot \sigma')^{1/54}]$$

DEEP Multi-Helix Screw-Piles and Helical Anchors

The ultimate capacity of deep multi-helix Screw-Piles and Helical Anchors depends on the geometry of the helical section, namely the size and number of helical plates and the spacing between the plates. In the U.S. most manufacturers of Screw-Piles and Helical Anchors produce elements with a helix spacing of 3 times the helix diameter. This spacing is assumed to allow individual plates to develop full capacity with no interaction between plates and the total capacity is often taken as the sum of the capacities from each plate as shown in Figure.



Development of Capacity for Multi-Helix Screw-Piles and Helical Anchors with $S/D > 3$.

Compression and Tension Loading of Multi-Helix Screw-Piles

Ultimate capacity of multi-helix Screw-Piles in compression and Helical Anchors in tension with a helix spacing/diameter ratio > 3 is often taken as the summation of the capacities of the individual plates:

$$Q_M = Q_H$$

where:

Q_M = Total Capacity of a Multi-Helix Screw-Pile/Helical Anchor

Q_H = Capacity of an Individual Helix

Reference

Dr. Alan J. Lutenecker, P.E., F. ASCE for International Society for Helical Foundations (ISHF)

3 Presiométrico

1. Charge limite d'un élément de fondation Q_u

$$Q_u = Q_{pu} + Q_{su}$$

1.1 Effort mobilisable sous la pointe Q_{pu}

$$Q_{pu} = A \cdot q_u \text{ ou } Q_{pu} = \rho_p \cdot A \cdot q_u$$

- A : section de la pointe
- ρ_p : coefficient réducteur (cas de pieux ouverts, H, palplanches)
- q_u : contrainte de rupture : $q_u = k_q \cdot P_{le}^*$
- P_{le}^* : pression limite nette équi.

$$P_{le}^* = \frac{1}{b + 3a} \int_{D-b}^{D+3a} P_l^*(z) \cdot dz$$

- $b = \min \{a, h\}$
- a : pris égal à la moitié de la largeur B de l'élément de fondation si celle-ci est supérieure à 1,00 m et à 0,50 m dans le cas contraire.
- h : désigne la hauteur de l'élément de fondation contenue dans la formation porteuse.
- $p_l^*(z)$ est obtenue en joignant des segments de droite sur une échelle linéaire les différents p_l^* mesurées.
- k_p : facteur de portance donnée en fonction de la catégorie de sol et du type de pieu lorsque la profondeur d'encastrement équivalente D_e est supérieure à la profondeur critique D_c ($D_e \geq D_c$, $D_c \geq 5B$).

Facteur k_p pour ($D_e/B \geq 5$)			
Nature de terrains		Éléments mis en œuvre sans refoulement du sol	Éléments mis en œuvre avec refoulement du sol
Argiles – Limons	A	1.1	1.4
	B	1.2	1.5
	C	1.3	1.6
Sables – Graves	A	1.0	4.2
	B	1.1	3.7
	C	1.2	3.2
Cayes	A	1.1	1.6
	B	1.4	2.2
	C	1.8	2.6
Marnes – Marno calcaire		1.8	2.6
Roches altérées (*)		1.1 a 1.8	1.8 a 3.2

Catégories conventionnelles des sols			
Classe de sol			P _l (MPa)
Argiles – Limons	A	Argiles et limons mous	< 0.7
	B	Argiles et limons fermes	1.2-2.0
	C	Argiles très fermes à dures	> 2.5
Sables –Graves	A	Lâches	< 0.5
	B	Moyennement compacts	1,0 – 2,0
	C	Compacts	> 2,5
Cayes	A	Molles	< 0,7
	B	Altérées	2.2
	C	Compactes	> 3,0
Marnes – Marno-calcaire	A	Tendres	1.5-4.0
	B	Compacts	> 4,5
Roches	A	Altérées	2,5 – 4,0
	B	Fragmentées	1.8 a 3.2

- D_e : hauteur d'encastrement équivalente

$$D_e = \frac{1}{P_{le}^*} \int_0^D p_l^*(z) \cdot dz$$

1.2 Effort limite mobilisable par frottement latéral Q_{su}

Choix des abaques pour la détermination de q_s et courbes												
	Argile - Limon			Sables - Graves			Craie			Marnes		Roches
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	
Foré simpl	Q1	Q1, Q2 (1)	Q2, Q3 (1)	---			Q1	Q3	Q4, Q5 (1)	Q3	Q4, Q5 (1)	Q6
Foré boue	Q1	Q1, Q2 (1)		Q1	Q2, Q1 (2)	Q3, Q2 (2)	Q1	Q3	Q4, Q5 (1)	Q3	Q4, Q5 (1)	Q6
Foré tubé (tube récupéré)	Q1	Q1, Q2 (1)		Q1	Q2, Q1 (2)	Q3, Q2 (2)	Q1	Q2	Q3, Q4 (3)	Q3	Q4	--
Foré tubé (tube perdu)	Q1			Q1		Q2	(4)			Q2	Q3	--
Puits (5)	Q1	Q2	Q3	--			Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6
Métal battu fermé	Q1	Q2		Q2		Q3	(4)			Q3	Q4	Q4
Battu préfabriqué Béton	Q1	Q2		Q3			(4)			Q3	Q4	Q4
Battu moulé	Q1	Q2		Q2		Q3	Q1	Q2	Q3	Q3	Q4	--
Battu errore	Q1	Q2		Q3		Q4	(4)			Q3	Q4	--
Injecté basse Pression	Q1	Q2		Q3			Q2	Q3	Q4	Q5		--
Injecté haute Pression (6)	--	Q4	Q5	Q5		Q6	--	Q5	Q6	Q6		Q7(7)

$$Q_{su} = P \cdot \int_0^h q_s(z) \cdot dz \quad \text{ou} \quad Q_{su} = \rho_s \cdot P \cdot \int_0^h q_s(z) \cdot dz$$

(1) Réalésage et rainurage en fin de forage

(2) Pieux de grande longueur (supérieure à 30 m)

(3) Forage à sec, tube non louvoyé

(4) Dans le cas des craies, le frottement latéral peut être très faible pour certains type de pieux. Il convient d'effectuer une étude spécifique

(5) Sans tubage, ni virole foncés perdues (paroi rugueuse)

(6) Injection sélective et répétitive à faible débit

(7) Injection sélective et répétitive à faible débit et traitement préalable des massifs fissurés ou fracturés avec obturation des cavités

- P : périmètre de l'élément de fondation

- $q_s(z)$: frottement latéral unitaire limite à la cote z ,

- s : coefficient réducteur (cas de palplanches)

- Courbes Q_1 à Q_4 (n désignant le numéro de la courbe)

avec

Ces courbes étant bornées supérieurement par la courbe Q_5 .

- Courbes Q_5 à Q_7

$$-Q_5 : q_s = \min\left(\frac{p_l - 0.2}{9}; \frac{p_l + 3.3}{32}\right) \text{ pour } p_l \geq 0.2 \text{ MPa}$$

$$-Q_6 : q_s = \min\left(\frac{p_l + 0.4}{10}; \frac{p_l + 4.0}{30}\right) \text{ (en général } p_l \geq 1.0 \text{ MPa)}$$

$$-Q_7 : q_s = \frac{p_l + 0.4}{10} \text{ (en général } p_l \geq 2.5 \text{ MPa)}$$

2. Charge de fluage Q

Mise en œuvre sans refoulement

$$Q_c = 0.5 \cdot Q_{pu} + 0.7 \cdot Q_{su}$$

Mise en œuvre avec refoulement

$$Q_c = 0.7 \cdot Q_{pu} + 0.7 \cdot Q_{su}$$

3. Etats limites de mobilisation du sol

E.L.U - C. fondamentales: $Q_u / 1.40$

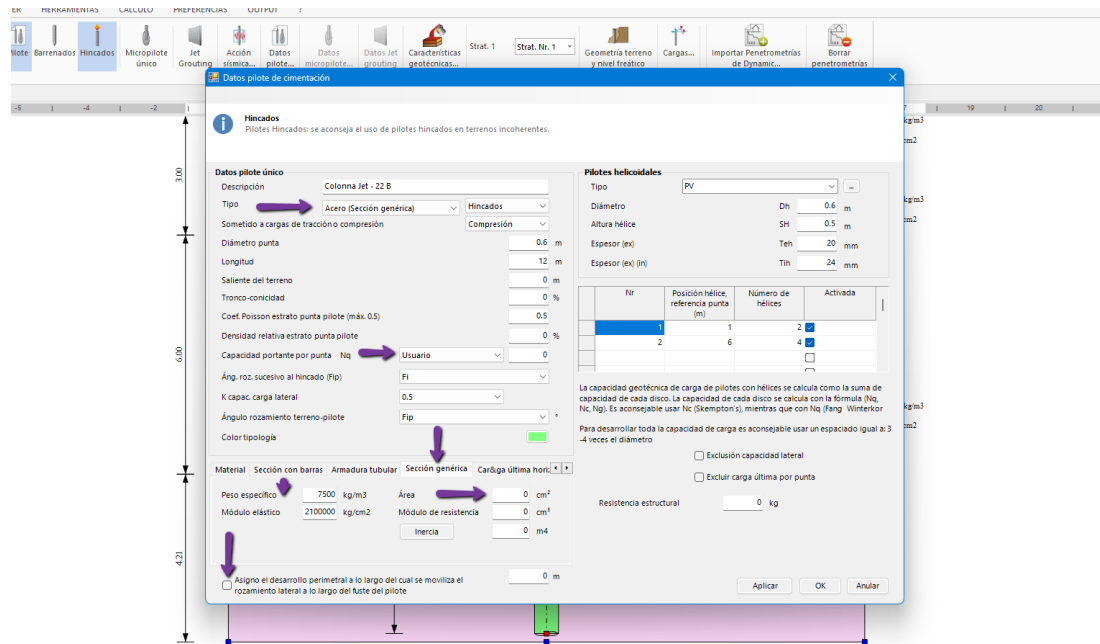
E.L.U - C. accidentelles: $Q_u / 1.20$

E.L.S - C. rares: $Q_u / 1.10$

E.L.S - C. quasi - permanentes: $Q_u / 1.40$

4 Estructuras para plantas fotovoltaicas

Con la siguiente configuración, es posible realizar análisis geotécnicos (GEO) y estructurales (STR) de pilotes metálicos hincados en el suelo. Con estas configuraciones, se calcula correctamente la carga límite lateral, excluyendo la carga límite de punta. Todas las demás comprobaciones, como el análisis estructural (STR) y los asentamientos (SLE), se llevan a cabo en función de los datos asignados en esta fase.



5 Datos Generales

En esta ventana se confieren los datos del proyecto: los mismos representan un apunte y son datos que serán memorizados sucesivamente y en la relación de cálculo generada con el comando Exportar en .doc, .docx, .pdf.

Datos generales

Descripción

Proyectista

Fecha

sabato 3 marzo 2018

Tipo

Pilote hincado Pilote barrenado Micropilote Jet grouting

Normativa

GEO NTC STR NTC

OK Anular ?

Descripción

Introducir una descripción sintética del trabajo realizado: este datos no es de relevancia.

Proyectista

Introducir el nombre del proyectista: este datos no es de relevancia.

Fecha

Introducir la fecha: Hacer doble click para ir al calendario y seleccionar la fecha.

Tipología

Elegir entre los distintos tipos de elementos por calcular (recuadro blu): Pilote hincado, barrenado, micropilote Jet grouting.

Normativa

Seleccionar el tipo de normativa por aplicar para las verificaciones geotécnicas y para aquellas estructurales (recuadro verde). La elección inicia los datos para el cálculo.

6 Archivo de materiales

A este archivo hace referencia todas las secciones de los elementos estructurales previstos por el programa. Los datos que aparecen en las tablas por default pueden ser modificados y no constituyen algún vínculo para el proyectista, en cuanto el único responsable de los valores asumidos. Las unidades de medida de todos los datos son explícitamente indicados.



Nota: Los materiales existentes no pueden ser cancelados, solo se pueden modificar o agregar otros nuevos.

Conglomeratos	
Clase	Clase del concreto
$f_{ck,cubos}$ [N/mm ²].	$f_{ck,cubos}$ [MPa]: es la resistencia característica a compresión medida en ensayos cúbicos R_{ck} al cual hacer referencia en sede de proyecto.
E_{cm} [N/mm ²].	E_{cm} [MPa]: módulo elástico del concreto, es aquel que puede emplearse en sede de proyectación igual a $22000 [(f_{ck}+8)/10]^{0.3}$ [N/mm ²].
f_{ck} [N/mm ²].	f_{ck} [MPa]: es la resistencia cilíndrica característica a compresión que del resto aparece como primer término en la denominación normalizada de la clase. Por ejemplo en la clase C20/25 $f_{ck}=20$ MPa e $R_{ck}=25$ MPa. Para pasar de la resistencia cúbica a aquella cilíndrica se utiliza la expresión $f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck}$ para la cual en la clase citada por ejemplo se tendrá que asumir $ff_{ck} = 0.83 \cdot 25 = 20.75$ MPa valor mayor de aquel (20 MPa) expuesto en la denominación de la clase. Se deja al proyectista, por lo tanto la decisión de que valor asumir: si aquel más conservativo indicado en la denominación de la clase o aquel indicado en la denominación normalizada.
f_{cd} [N/mm ²]	f_{cd} [MPa]: es la resistencia de cálculo del conglomerado igual a $\alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c$ in cui α_{cc} es le coef. de reducción para las resistencias de larga duración y por norma vale 0.85 e $\gamma_c = 1.50$ es el coeficiente parcial del hormigón. Para los elementos planos (paredes etc.) con espesores menores de 5 cm y realizados en obra el valor de f_{cd} va reducido del 20%.
f_{ctd} [N/mm ²]	f_{ctd} [MPa]: es la resistencia de cálculo a tracción igual a: $f_{ctd} / \gamma_c = 0.7 f_{ctm} / \gamma_c$
f_{ctm} [N/mm ²]	f_{ctm} [MPa]: es la resistencia promedio a tracción igual a $0.3 \times f_{ck}^{2/3}$
Poisson	Poisson: el valor del coeficiente μ de Poisson puede variar de 0 (hormigón fisurado) a 0.2 (hormigón no fisurado). El programa utiliza dicho coeficiente para el cálculo del módulo elástico tangencial $G = 0.50 \cdot E_{cm} / (1+\mu)$
P.S.	P.S. [KN/m ³]: peso específico del hormigón armado. Es visualizado por el programa para el cálculo de los pesos propios del elemento estructural.

Aceros	
E_s [MPa]	módulo elástico generalmente asumido igual a 2000000 Kg/cm ²
f_{yk} [MPa]	tensión característica de fluencia asumida en base de proyecto igual a aquella nominal (450 N/mm ²)
f_{yd} [MPa]:	tensión de fluencia de cálculo asumida in base de proyecto igual a $f_{yk} / \gamma_s = 450/1.15 = 391,3$ N/mm ² siendo el coeficiente parcial del acero $\gamma_s = 1.15$
f_{tk} [MPa]	tensión característica de ruptura asumida en base de proyecto igual a aquella nominal
f_{td} [MPa]	tensión de ruptura de cálculo asumida en base de proyecto. Puede ser asumida igual a f_{yd} o igual a $f_{yd} \cdot k$ con $k = f_t / f_y$.
$\epsilon_{p,tk}$	deformación unitaria característica a ruptura. Su valor no puede ser inferior a 0.075.
$\epsilon_{pd,ult}$	deformación última de cálculo igual a $\epsilon_{ud} = 0.9 \epsilon_{tk}$.
$\beta 1 \cdot \beta 2$ iniz.:	coeficiente de adhesión acero hormigón a la primera aplicación de la carga. Es utilizada por el programa para la verificación de las aberturas de las fisuras en las combinaciones raras de ejercicio (SLE)
$\beta 1 \cdot \beta 2$ fin.:	Coeficiente de adhesión acero hormigón para cargas de larga duración. Es utilizada por el por el programa en la verificación de abertura de fisuración de las combinaciones frecuentes y casi-permanentes de ejercicio (SLE)

Parámetros estados límite de ejercicio (Abert. fisuraciones - Tensiones normales)

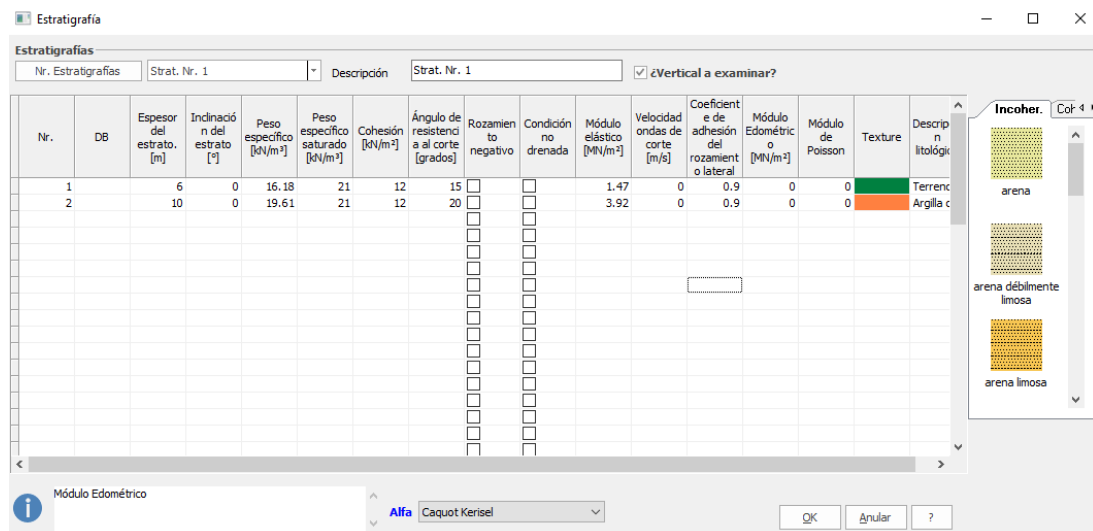
Apert. fess. [mm]: En esta columna se encuentran los valores límites de las aberturas fisuras según del estado límite y de las condiciones ambientales fijadas (estas últimas son indicadas en la ventana de Datos Generales).

S.cls [aliq. f_{ck}]: tensión límite del hormigón en ejercicio expresada como alícuota de las tensión característica de ruptura del hormigón

S.fe [aliq. f_{yk}]: tensión límite del acero en ejercicio expresada como alícuota de la tensión característica de ruptura del acero. Es consentido igualmente una modificación.

7 Características geotécnicas

Con este comando son reunidos todos los datos relacionados a la caracterización geotécnica del terreno en los cuales se admiten el micropilote y el pilote.



Estratigrafía terreno y verticales por estudiar

Con la entrada en vigor de la nueva normativa el programa calcula la capacidad de carga del micropilote para más de una estratigrafía o vertical de estudio: generalmente, un mayor número de verticales de estudio favorece una correcta definición de la estratigrafía en ventaja de una evaluación más atendible de la capacidad de carga límite.

En el cuadro rojo como se muestra en la figura de arriba se ha introducido el número de estratigrafías disponibles y la actual visualizada: en base al número de estratigrafías introducido será posible elegir aquella actual para la introducción de los parámetros necesarios y su caracterización mecánica.

En el cuadro azul como se muestra en la figura de arriba, asignando el nombre de la estratigrafía actual y se va precisando si la estratigrafía se considera o no en el cálculo de la capacidad de carga: el número de verticales estudiadas incide sobre el coeficiente de reducción de la resistencia original característica del terreno (*ver Carga límite en Cálculo*)

Cada estratigrafía se define caracterizada desde el punto de vista mecánico con los parámetros característicos: los parámetros geotécnicos por introducir tendrán que ser atribuidos a partir del estrato más superficial a aquel más profundo:

Nr

Número de orden del estrato 1, 2, 3, 4, etc.

DB

Database de terrenos con relativas características geotécnicas.

Hs

Espesor del estrato. El espesor de cada estrato puede ser modificado, desde el área de trabajo: ubicarse con el mouse sobre el punto central de pasaje de una tipología a otra (punto de enganche marcado en azul) y manteniendo presionado el pulsante llevar el estrato a una nueva posición. Aparece una ventana de diálogo en la cual es solicitada introducir el nuevo espesor.

Eps

Inclinación de estrato en grados, positiva si es anti-horaria. En manera análoga a la modificación de los estratos es posible variar la inclinación común click del mouse sobre los puntos de enganche laterales (ver Hs).

Peso específico

Peso específico del estrato en la unidad de medida especificada; en presencia de terreno sumergido en nivel freático introducir el peso específico en la casilla

sucesiva.

Peso específico saturado

Peso específico saturado del estrato en la unidad de medida especificada.

c

Cohesion del terreno en la unidad de medida especificada. En presencia de nivel freático o generalmente en terrenos saturados, para análisis en condición sin drenaje, ocurre introducir el valor no drenado y seleccionar la opción condición sin drenaje.

Fi

Representa el ángulo de resistencia del terreno en grados; en presencia de nivel freático introducir el parámetro eficaz. Para el análisis sin drenaje, el ángulo de rozamiento va considerado nulo en automático por el programa.

Rozamiento negativo

Seleccionar la opción si se quiere tener en cuenta el rozamiento negativo que se genera en el estrato en presencia de un pilote. Tal fenómeno viene computado si es en presencia de micropilotes. Para más información consultar las notas teóricas.

Condición sin drenaje

Seleccionar la opción de condiciones sin drenaje relativamente al estrato para el cual vale tal condición.

Módulo elástico

Módulo elástico del estrato. Tal valor es necesario para el cálculo de los asientos.

Vs

Velocidad de onda de corte para el estrato considerado. La Vs es indispensable para el cálculo de la interacción cinemática pilote-terreno (ver Momentos cinemáticos en Acción sísmica)

Alfa


Coefficiente de adhesión para la intervención de la adhesión de la superficie lateral del pilote o micropilote. El valor de este parámetro puede ser introducido por elección del usuario o calculado en automático por el programa eligiendo uno de los varios autores mostrados (Caquot-Kerisel, Meyerhof e Murdock, Whitaker-Cooke, Woodward) en el caso de pilotes barrenados o de micropilotes. Para los pilotes hincados el coeficiente calculado en automático es función del range de valores de la cohesión. Para más información consultar las notas teóricas.

Textur

Ubicarse en esta casilla y hacer un click en el pulsante visualizado en el interior de esta casilla con tres puntos, aparecerá una ventana con la paleta de colores para elegir uno y asociarlo al estrato correspondiente. Otra alternativa es seleccionar una textura desde el panel derecho y arrastrarla con el mouse y colocarla en la casilla textur.

Descripción litológica

Ubicarse en la casilla y escribir el texto; el mismo será presente en la leyenda estratos.

 Cada estratigrafía correspondiente a una vertical de estudio puede ser importada por los programas de elaboración de ensayos penetrométricos estáticos y dinámicos con el comando Importar Penetrométricas de Dynamic.. (ver [Menú](#) [Datos](#)^[12]).

8 Acción sísmica

Las acciones sísmicas de proyecto se pueden evaluar con:

[Eurocódigo 8](#)^[19]

En presencia de la acción sísmica la respuesta del pilote es el resultado de una compleja interacción terreno-pilote, de difícil interpretación a causa de fenómenos no lineal en el terreno y de los efectos cinemáticos asociados al moto del terreno.

Generalmente, a las solicitaciones transmitidas por la sobre-estructura se agregan aplicando el principio de sobre-posición de los efectos, aquellos derivados por la interacción cinemática que produce en los pilotes las solicitaciones adicionales que dependen principalmente de la rigidez relativa del pilote-terreno.

Respecto a la literatura existente, con respecto a este tipo de estudios, surge que en el caso de pilote sumergido en terrenos estratificados, la solicitación de flexión recibe un importante aumento en proximidad del interfaz entre estratos de diferentes rigidezas y tal aumento es tan mayor cuanto mayor sea el contraste rigidez. En algunos casos el valor del momento producido por este efecto puede superar aquel de los pilotes en cabeza en presencia de encastre.

De un análisis de numerosos resultados, **Nikolaou y otros, 2001**, ha propuesto una relación que consiste en calcular, en forma aproximada, el momento flectente máximo en correspondencia del interfaz entre dos estratos de distintas rigidezas, en condiciones de moto estacionario con frecuencia próxima a la frecuencia fundamental del depósito donde está sumergido el pilote

$$M = 0,042 \cdot \tau_c \cdot d^3 \cdot \left(\frac{L}{d}\right)^{0,30} \left(\frac{E_p}{E_1}\right)^{0,65} \left(\frac{V_{s2}}{V_{s1}}\right)^{0,50}$$

en el cual $\tau_c = a_{\max,s} \rho_1 h_1$; V_{s1} e V_{s2} , respectivamente, la velocidad de las ondas de corte en dos estratos; E_1 es el módulo de rigidez del estrato superior del terreno.

Los momentos evaluados según la expresión de Nikolaou son indicados en la sección Momentos cinemáticos presentes en el cálculo estructural.

Estas solicitaciones extras son calculadas por el programa solo si el número de estratos es superior a 1, han sido introducidas las velocidades de onda de corte y si ha sido introducida la acción sísmica.

8.1 Eurocódigo 8

Para la aplicación del Eurocódigo 8 (proycción geotécnica en campo sísmico) el coeficiente sísmico horizontal es definido de la siguiente manera:

$$K_h = \frac{a_{gR} \cdot \gamma_I \cdot S}{g}$$

$$K_v = \pm 0,5 \cdot K_h$$

donde:

a_{gR} = aceleración de pico de referencia sobre suelo rígido emergente,

γ_I = factor de importancia,

S = soil factor y depende del tipo de terreno (de A a E).

$$a_g = a_{gR} \cdot \gamma_I$$

es “design ground acceleration on type A ground”.

9 Pilote

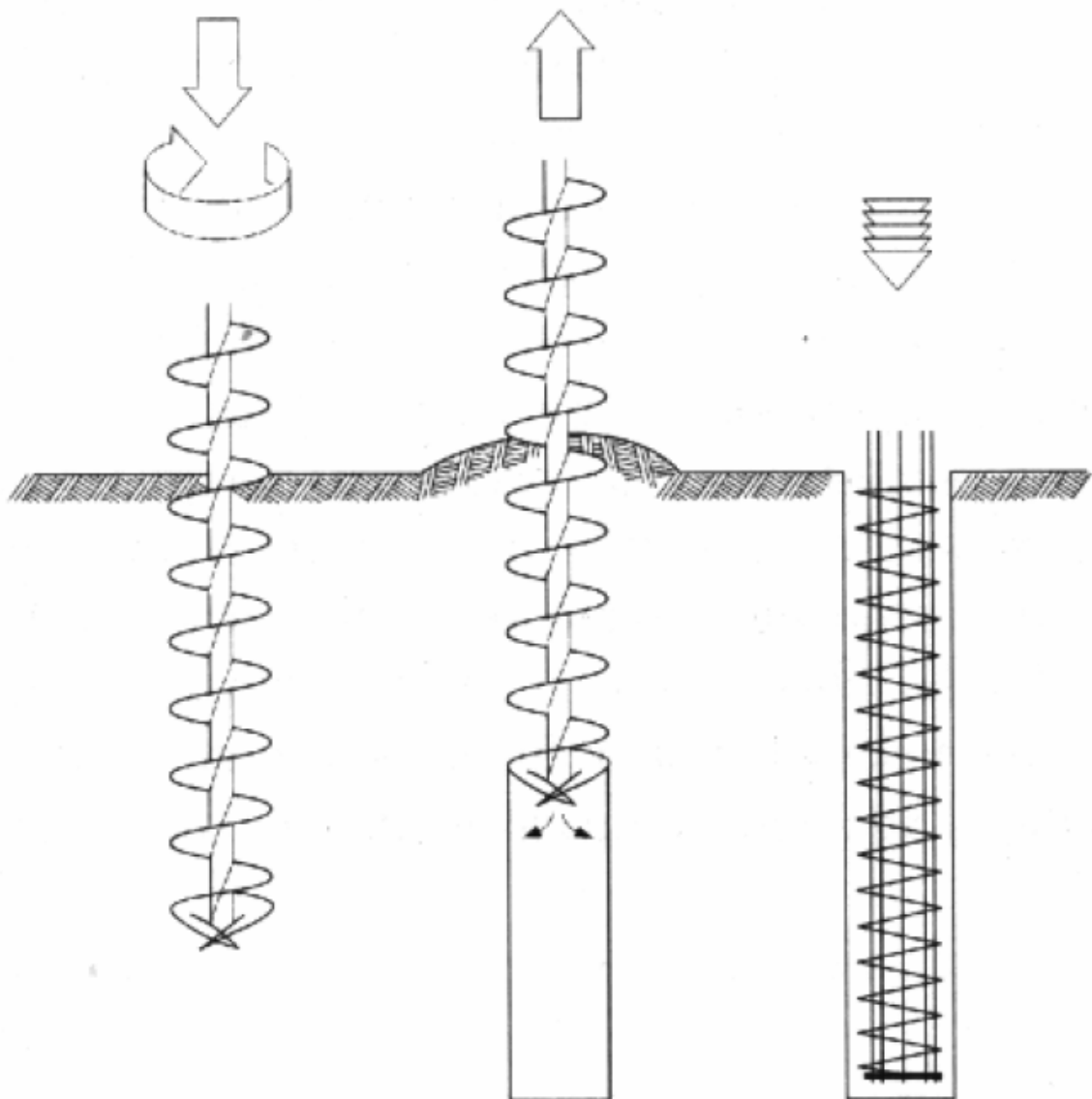
Tipos de pilotes para tecnología ejecutiva

Pilotes Barrenados

Si se trata de pilotes ubicados en obra antes de la ejecución de un foro con exportación del terreno. Se diferencian de entre ellos por las distintas modalidades de barrenados y de estabilización de las paredes del foro. Los pilotes barrenados, especialmente los de gran diámetro, son generalmente perforados con aparatos a rotación, sosteniendo las paredes del foro, donde es necesario, con lodos bentoníticos.

Los pilotes barrenados y con hélice continua pertenecen a la categoría de pilotes barrenados con exportación parcial del terreno. La perforación va realizada a través de un hélice continuo de excavación. En esta fase de extracción se procede con el llenado de la cavidad libre a través de cemento bombeado. Una vez extraído el hélice se procede con la obra de la armadura metálica introducida en el hormigón todavía fresco.

Dicha técnica, óptima para la ejecución de pilotes en áreas restringidas no necesitan de lodos bentoníticos o en proximidad de presencia gracias a la ausencia de vibraciones, a la no decompresión del terreno y a un mínimo de molestia sonora, permite realizar pilotes de diámetro variable de 300 a 1200 mm por profundidad máxima de 25- 30 metros.

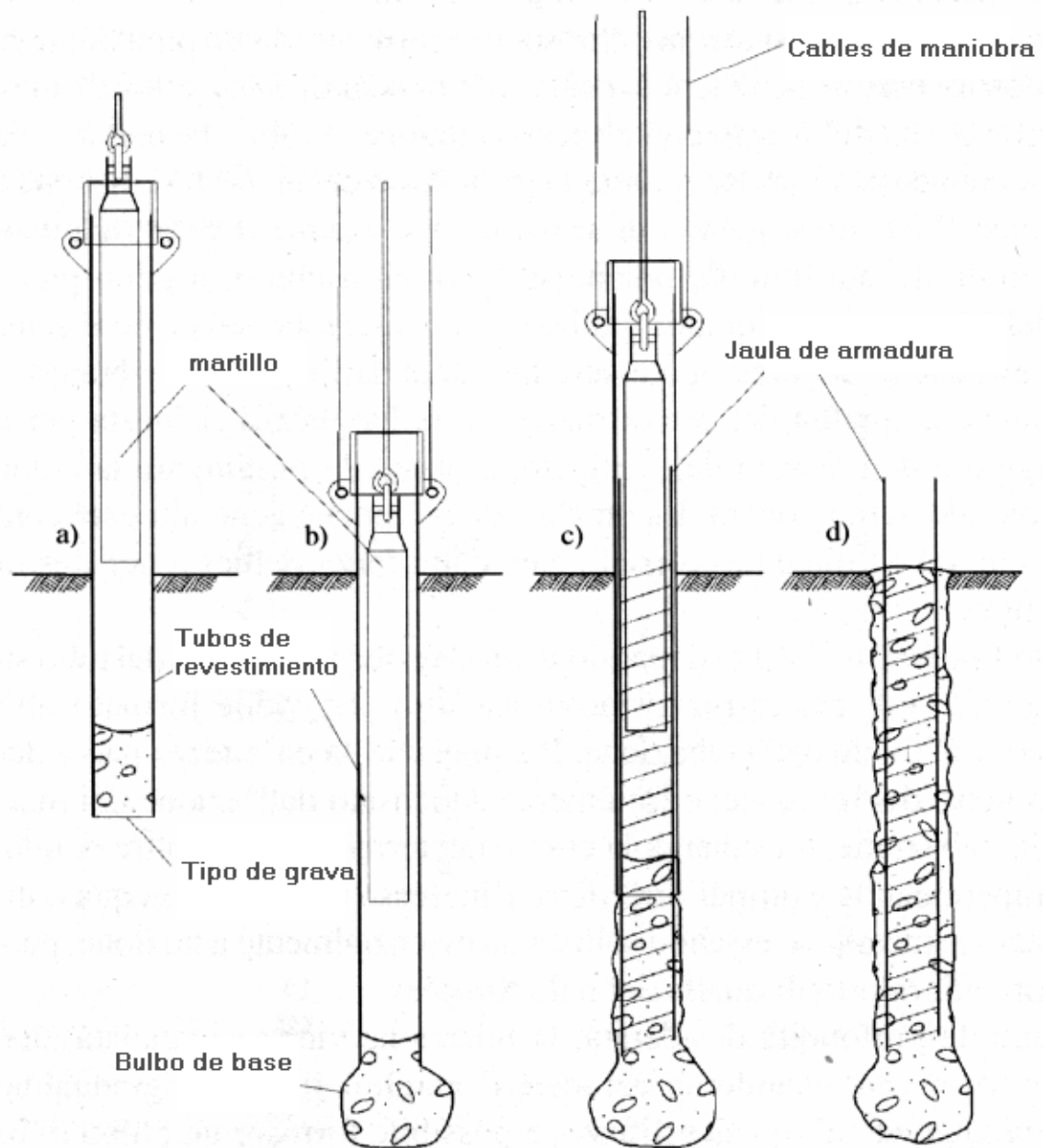


Pilote con hélice continua (CFA - Continuous Flight Auger)

Pilotes hincados

Con esta tecnología ejecutiva los pilotes son hincados en la superficie sin la exportación de terreno. Pueden ser prefabricados o realizados en la misma obra en el interior de un tubo hincado en el terreno.

Los pilotes hincados, en terrenos sin cohesión (arenas y gravas) determinan un adensamiento de estos, que mejora las características mecánicas. En los terrenos de granos finos (limas y arcillas) saturados, la energía va integralmente absorbida por el agua y de consecuencia sobre-presión intersticial y reducción de la resistencia eficaz.



Pilote barrenado en obra (Tipo Franki)

9.1 Datos Pilote

Para proceder con un cálculo de un pilote, es necesario seleccionar el comando Datos Pilotes desde el menú Datos.

Los datos necesarios para la correcta conclusión del cálculo son:

- **Tipo pilote**

Elegir el tipo de pilote entre: pilote en hormigón armado, acero o madera. Por cada tipo, elegir la tecnología de realización entre Hincado o barrenado.

Para los Pilotes en **madera** o en **acero**, el programa no realiza las **verificaciones estructurales**, solo devuelve la **capacidad de carga y las solicitaciones flectentes y cortantes y la deformada**.

- **Diámetro punta**

Introducir el diámetro del pilote en la unidad de medida especificada; el diámetro va extendido por todo el ancho del pilote.

- **Largo**

Introducir el largo complessivo del pilote en la unidad de medida solicitada.

- **Saliente del terreno**

Indicar el largo del pilote que sale del terreno en la unidad de medida solicitada. El valor de tal grandeza es medida por la parte saliente que no interactúa con el terreno (Generalmente es utilizada en el caso de muelles): *tal zona no es considerada de importancia para la capacidad de carga del pilote..*

- **Tronco-conicidad**

Tal grandeza se activa solo en el caso de pilotes hincados, es decir de pilotes prefabricados. Expresados en [%], el cual representa la variación del radio del pilote por unidad del largo, a partir del diámetro asignado. Una tronco-conicidad del 10% comporta un aumento del radio, de la punta a la cabeza de 0,1 m por cada metro del largo. Por lo tanto sobre un pilote de 10 m con diámetro 0,5 m, se obtiene un radio final de 1,25 m.

- **Coefficiente de Poisson**

El coeficiente de Poisson, es un dato necesario si se quieren evaluar los asientos. Esto se refiere donde apoya la punta del pilote. Valores orientativos de tal grandeza son indicados por el programa en el recuadro de informaciones (como se puede observar en la siguiente figura)

Datos pilote de cimentación

×



Barrenados

Pilotes Barrenados: se aconseja el uso de pilotes barrenados en terrenos cohesivos. El ángulo de rozamiento pilote-terreno es inferior al ángulo de rozamiento del terreno.

Datos pilote único		Pilotes helicoidales	
Descripción	<input type="text"/>	Tipo	<input type="text"/>
Tipo	Pilote en H.A. <input type="text"/> Barrenados <input type="text"/>	Diámetro	Dh <input type="text"/> m
Sometido a cargas de tracción o compresión	Compresión <input type="text"/>	Altura hélice	SH <input type="text"/> m
Diámetro punta	<input type="text"/> m	Espesor (ex)	Teh <input type="text"/> mm
Longitud	<input type="text"/> m	Espesor (ex) (in)	Tih <input type="text"/> mm
Saliente del terreno	<input type="text"/> 0.5 m		
Tronco-conicidad	<input type="text"/> 0 %		
Coef. Poisson estrato punta pilote (máx. 0.5)	<input type="text"/> 0.5		
Densidad relativa estrato punta pilote	<input type="text"/> 0 %		
Capacidad portante por punta Nq	Berezantzev (1970) <input type="text"/>		
Áng. roz. sucesivo al hincado (Fip)	<input type="text"/> (3/4 Fip + 10)		
K capac. carga lateral	<input type="text"/> 0.5		
Ángulo rozamiento terreno-pilote	Fip <input type="text"/> °		
Color tipología	<input type="text"/>		

Nr	Posición hélice, referencia punta (m)	Número de hélices	Activada
			<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>

La capacidad geotécnica de carga de pilotes con hélices se calcula como la suma de capacidad de cada disco. La capacidad de cada disco se calcula con la fórmula (Nq, Nc, Ng). Es aconsejable usar Nc (Skempton's), mientras que con Nq (Fang, Winterkorn)

Para desarrollar toda la capacidad de carga es aconsejable usar un espaciado igual a: 3-4 veces el diámetro

Exclusión capacidad lateral Excluir carga última por punta

Portanza strutturale 0 kN

Applica OK Anular ?

Datos pilotes - Coeficiente de Poisson

• Densidad relativa punta pilote

Introducir el valor de la densidad relativa del estrato en el cual es introducida la punta del pilote. Este parámetro es necesario para evaluar la capacidad de carga de punta con el método de Vesic.

• Cap. de carga a la punta Nq

Elegir un autor de entre los mencionados (*Berezantzev, Terzaghi, Janbu, Hansen e Vesic*) para el cálculo de la cap. de carga de punta. Para más información consultar las notas teóricas.

• Áng. roz. sucesivo al hincado (Fip)

Elegir el valor del ángulo de rozamiento para utilizar en el cálculo de la capacidad de carga una vez realizado el pilote. Para pilotes hincados se aconseja adoptar un ángulo Fip de cálculo igual a $(3/4Fip + 10)$, mientras que para palos barrenados es habitual disminuir el ángulo de rozamiento del terreno de 3° ; otra opción es elegir utilizar el parámetro fp propio del terreno.

• K Cap. carga lateral

Elegir de entro los valores aquel por asignar a los coeficientes K para el cálculo de la capacidad de carga lateral (del fusto) pilote. Para pilotes barrenados generalmente se utiliza $K = 1 - \text{sen}Fip$, mientras que para los hincados $K = 1 - \text{tan}2Fip$, dove Fip representan el ángulo de rozamiento elegido para el cálculo (Ángulo roz. sucesiva al hincado). Calores iguales a 0.5 ed 1 son sugeridos para pilotes en acero (0.5) y pilotes en hormigón prefabricado o madera (1).

• Ángulo roz. terreno-pilote

Elegir de entre los valores aquel para asignar a d en el cálculo de la capacidad de carga vertical lateral (fusto) del pilote. Para pilotes barrenados generalmente se da un valor igual a F_{ip} (áng. roz. del cálculo), mientras que para pilotes hincados en hormigón prefabricado se adopta $d = 3/4F_{ip}$. Para los pilotes en acero, en cambio aconsejamos utilizar 25° .

Los datos para el cálculo van completados según a las siguientes indicaciones para las verificaciones estructurales y aquella a carga límite horizontal:

1 Material

En esta sección se indica el tipo de hormigón y de acero para emplear en el cálculo: estos indentifican las resistencias de los materiales utilizados en el caso de pilote en hormigón armado. Si el pilote es en acero o madera, ir a la sección Sección genérica.

2 Sección con barras

Es esta sección se introducen los datos respectivos a la armadura con barras del pilote en hormigón armado: para los pilotes en hormigón armado es posible solo la armadura con barras.

Cubierta barra, se entiende como la distancia medida a partir del baricentro de las barras, que el número de hierros es interpretado por el programa como el número mínimo de hierros a introducir: si aquel solicitado por las verificaciones es mayor, el programa aumenta el número de barras hasta la verificación (punto interno al dominio de ruptura de la sección), realizando el control geométrico sobre todo el hierro.

Si el número de hierros solicitados es inferior a aquel inicial el programa verifica la sección con el número de hierros asignado.

En cada caso, viene siempre realizado el control sobre el porcentaje mínimo de armadura igual al 0,3% área del hormigón y el pilote va armado sobre todo el largo con tal valor.

3 Sección genérica

Los datos solicitados se refieren a los pilotes en **acero o madera**. **Peso específico** y **Módulo elástico** se refieren al material por el cual es compuesto el pilote, mientras **Área** y **Módulo de resistencia** se refieren a la sección que reacciona a las solicitaciones. El Momento de inercia es calculado por el programa: recordamos que la relación existente entre momento de inercia y módulo de resistencia es la siguiente:

donde:

I	momento de inercia baricéntrico;
W	módulo de resistencia
y_{\max}	distancia de la fibra más lejana del eje neutro.

Para el pilote en acero con sección tubular recordamos que el módulo de resistencia W es igual a:

$$W = \frac{\pi \cdot (R^4 - r^4)}{4R} = 0,098 \frac{(D^4 - d^4)}{D}$$

donde R (o D) es el radio (o diámetro) externo del tubular, mientras que r (o d) es el radio (o diámetro) interno del tubo.

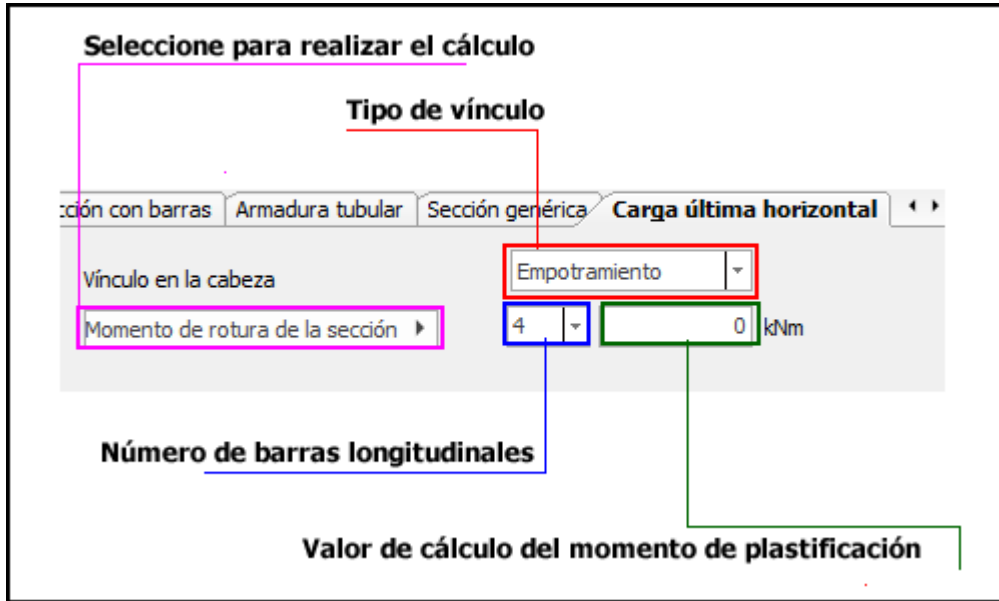
Para dicha tipología de sección el área es expresada por

$$A = \pi(R^2 - r^2)$$

4 Carga última horizontal

La evaluación de la carga límite última horizontal es necesaria cuando en presencia de pilote sugetado a carga transversal. En este programa la valoración de la carga a ruptura para pilotes sugetados a acciones horizontales y va tratada según la teoría de Broms. Con este tipo de tracción el terreno es supuesto homogéneo y con o sin cohesión. En presencia de terrenos estratificados por el programa toma el terreno a un medio homogéneo con parámetros mecánicos obtenidos por el promedio pesado, utilizando como peso el espesor del estrato. En presencia de ángulo de resistencia al corte que de cohesión, el programa da preferencia al rozamiento y por lo tanto evalúa la carga límite última como medio sin cohesión. Ver también [Carga límite horizontal](#) ^[65] en **notas teóricas**.

El cálculo de la carga límite horizontal está supeditado al cálculo del momento de rotura de la sección, acceder a la etiqueta Carga límite/ultima horizontal, seleccionar el tipo de vínculo en la cabeza, definir el número de barras longitudinales (para secciones en hormigón armado) y haga clic en el botón Momento de rotura de la sección.



Screw piles

Los datos geométricos de la placa helicoidal que caracterizan al pilote deben ser asignados en el campo indicado con (d) en la figura (datos del pilote).

Dati palo di fondazione

Pali elica
Sono costituiti da un fusto tubolare cilindrico in acciaio con una o più viti elicoidali ad alta resistenza. Assegnare armatura con tubolare, i dati del tubolare e le caratteristiche dei materiali.

(d)

Dati palo singolo

Descrizione: Elika Systab

Tipo: Acciaio (Armadura con tubolare) | Pali elica

Soggetto a carichi di trazione o compressione: Compressione

Diametro punta: 0.08

Lunghezza: 4

Sporgenza dal terreno: 0.5

Tronco-conicità: 0

Coeff. Poisson strato punta palo (max 0.5): 0.5

Densità relativa strato punta palo: 0

Portanza di punta: Nq | Vesic

Angolo attrito dopo infissione (Fip): (3/4 Fi + 10)

K portata laterale: 0.5

Angolo di attrito terra-palo: Fip

Colore tipologia: [Green]

Materiale: Sezione con barre | Armadura con tubolare | Sezione generica | Caric...

Calcestruzzo: C20/25

Acciaio: S355H

(a) **Pali elica**

Tipo: PV

Diametro: Dh 0.35 m

Altezza elica: SH 0.4 m

Spessore (ex): Teh 20 mm

Spessore (ex) (in): Tih 24 mm

(b)

Nr	Posizione elica, riferimento punta (m)	Numero di eliche	Attivata
1	0.5	2	<input checked="" type="checkbox"/>
2	2	2	<input checked="" type="checkbox"/>

(c)

La portanza geotecnica dei pali ad elica è calcolata come somma della portanza dei singoli dischi. La portanza di ogni disco è calcolata con la formula trinomia (Nq, Nc, Ng). Si consiglia di usare Nc (Skempton's), mentre per Nq (Fang Winterkorn).

Per lo sviluppo di una totale capacità portante è consigliabile usare una spaziatura pari a: 3-4 volte il diametro

Esclusione portata laterale

Esclusione carico di punta

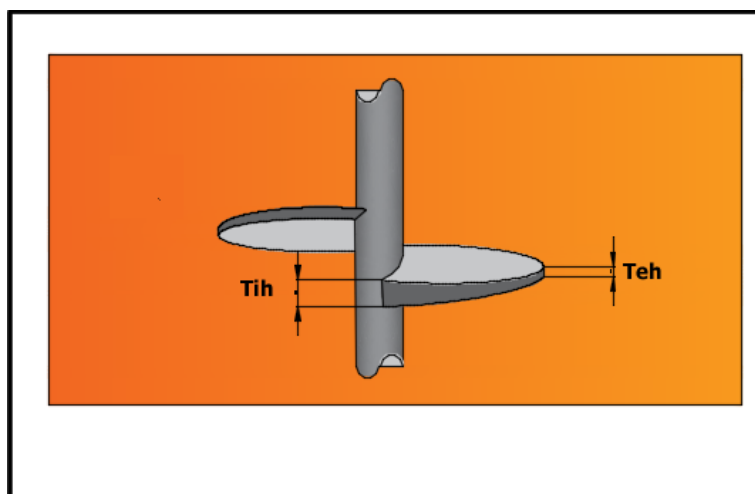
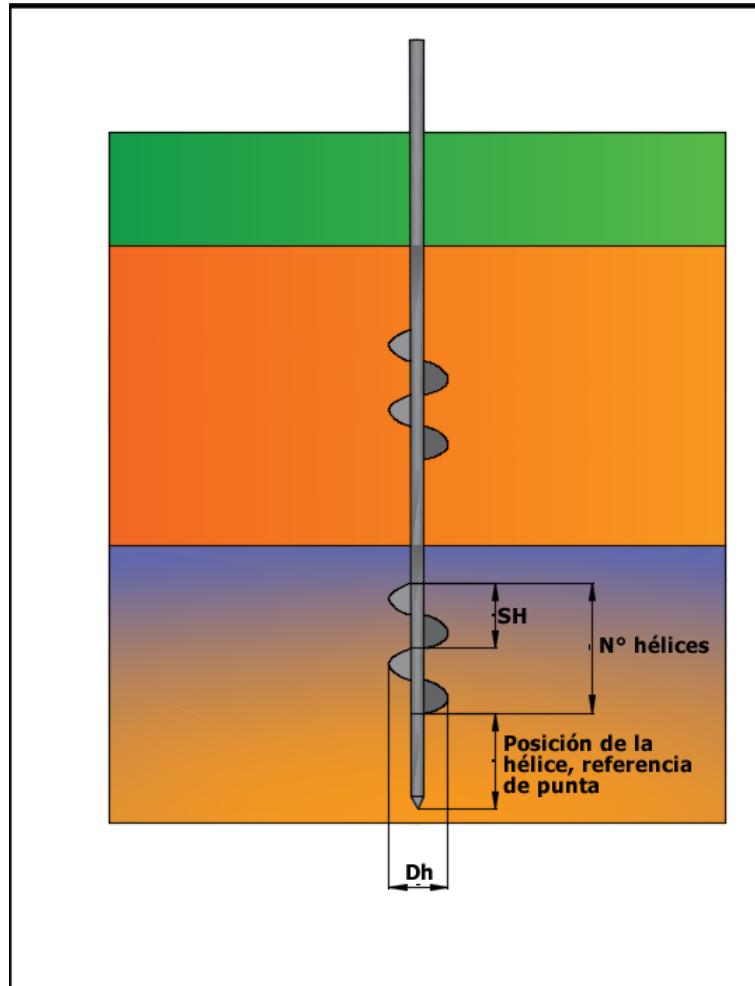
Portanza strutturale: 0 kNm

Applica | OK | Annulla

datos del pilote-pilote helicoidale

En el campo tipo, (a) en la figura (datos del pilote-pilote helicoidal), el usuario puede asociar una abreviatura al tipo de pilote.

En la sección (b) es posible caracterizar la geometría de la hélice única, las referencias se explican en la figura (geometría de la hélice).



datos del pilote - pilote helicoidal

Para definir el número de placas helicoidales y su posición relativa a la punta del pilote, los datos deben ser reportados en la tabla resaltada por el recuadro azul, (c) en la figura (datos del pilote - pilote helicoidal).

10 Micropilote

Se definen micropilotes a los pilotes barrenados de pequeño diámetro ($D \leq 250$ mm) realizados con herramientas y tecnologías particulares. Hay dos tipos fundamentalmente:

1

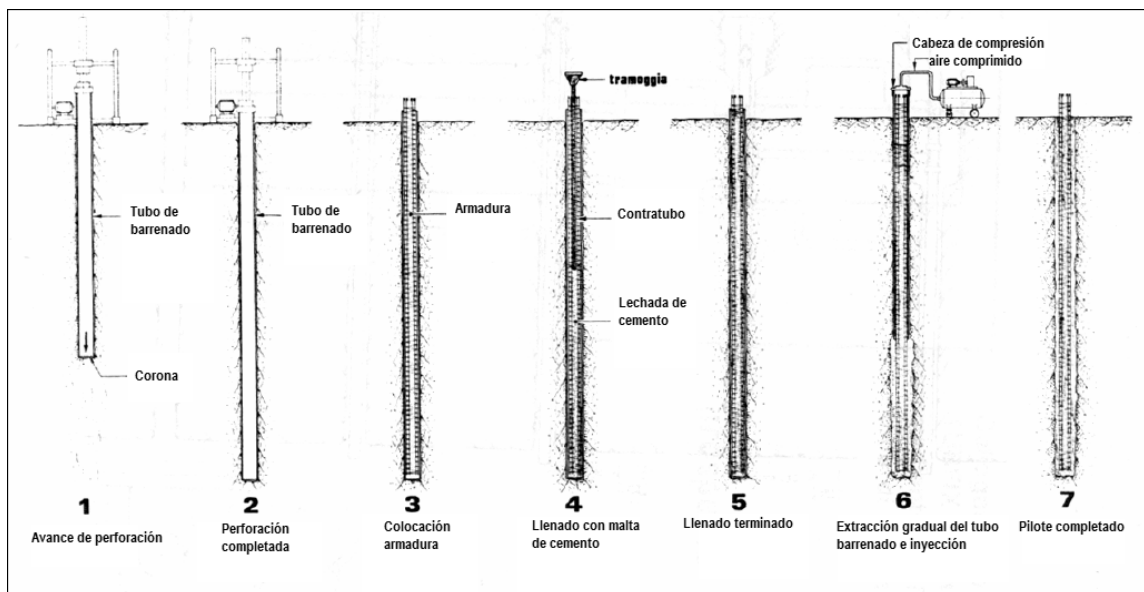
Raíz

Reproduce la técnica de los pilotes barrenados de diámetro medio pero el llenado va realizado a presión.

2

Tubifix

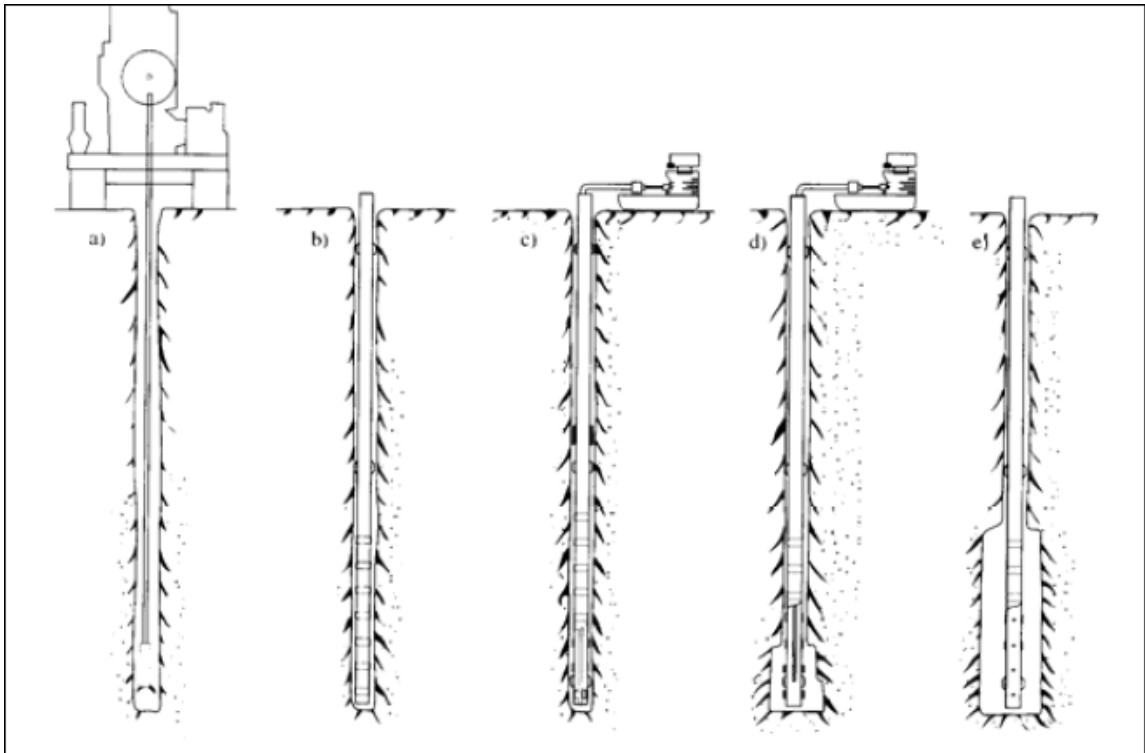
Va realizado barra barrenados y llenados a través de un tubo de acero con válvula y fijados al terreno con cemento.



Fases ejecutivas de un micropilote raíz

En los micropilotes **Tubifix** la armadura es constituida por un tubo dotado de válvulas sin regreso con interejos 30-50 cm, ubicadas en correspondencia de los estratos donde se quiera transferir la carga.

La presencia de la vaina consiste en la inyección de la lechada con presiones que pueden llegar hasta algunas decenas de atm en correspondencia de las válvulas que comprimen el terreno creando una importante resistencia de rozamiento.




Fases ejecutivas de un micropilote Tubifix

10.1 Datos micropilotes

Para el cálculo de un micropilote seleccionar el comando Micropilote del Menú Datos. Aparecerá una ventana como se muestra a continuación

Datos micropilote

X

 Las condiciones de vínculo aquí definidas tienen efecto solo sobre la carga última horizontal.

Datos micropilote

Descripción

Sometido a cargas de tracción o compresión

Tipo

Tipo de armadura

Inyección

Diámetro de la perforación m

Suelo

Factor expansion bulb

Diámetro bulbo m

Longitud fuste m

Longitud bulbo m

Inclinación °

Color tipología

Método de cálculo

TUBIFIX

Método de Mayer kN/m²

Bustamante y Doix

RAÍZ

Coefficiente de adhesión del rozamiento lateral en $k_s f_u$

Capacidad portante por punta

Densidad relativa estrato punta pilote %

Capacidad portante por punta H_q

Excluir carga última por punta

Material

Hormigón

Acero

Datos micropilotes

Descripción

Introducir un texto para describir el elemento.

Tipología

Elegir entre la tipología del micropilote **Raíz** o **Tubifix**. Ver [Micropilote](#)^[29].

Tipo de armadura

Elegir la tipología de armadura entre tubular o hierros longitudinales: si se elige con tubular ocurre definir el diámetro externo, espesor y peso a metro linear del tubo en la sección **Armadura con tubular** (ver recuadro rojo en figura). El programa dispone de un Database de tubulares da los cuales es posible elegir aquel a introducir en función del diámetro externo y del espesor deseado: si no esta presente en la lista es posible introducir los datos manualmente.

Si el micropilote tiene que ser con **barras longitudinales**, elegir el diámetro hierros y estribos, además el número de barras y cubierta barras en Sección barras (recuadro azul).

En la sección **material** se eligen el tipo de acero y la clase de resistencia de la lechada (ver [Archivo Materiales](#)^[14]): en las verificaciones estructurales es considerada la sección completa de acero y lechada de inyección.

Inyección

En función del tipo de micropilote es importante elegir el tipo de inyección de la lechada. Para los micropilotes **TUBIFIX** es posible elegir entre el método de sellado

con **Inyección Repetitiva o selectiva (IRS)** y aquel con **Inyección Global única (IGU)**; del tipo de inyección elegido dependen las dimensiones del diámetro del bulbo. Para los micropilotes Raíz se usa micro-cemento a baja presión (ausencia de inyección).

Diámetro de perforación

Introducir el diámetro de la perforación.

Suelo

Elegir una tipología para el calculo del parametro necesario para la definicion del diámetro del bulbo en el caso vengan empleados micropilotes TUBIFIX. Para micropilotes Raíz $\alpha = 1$, es decir no viene creado el bulbo ya que el llenado es por caída.

Alfa

Representa un coeficiente que permite calcular, en función del tipo de sellado y la litología el diametro del bulbo, en el caso de micropilote TUBIFIX. el valor de α puede ser introducido manualmente por el usuario.

Diámetro bulbo

Introducir el diámetro promedio del bulbo en el caso de micropilotes **TUBIFIX**; tal valor puede ser introducido manualmente por el usuario o bien puede ser utilizado aquel propuesto por el programa derivado por el valor de α introducido y del diametro de perforación. Para micropilotes **Raíces** el diámetro del bulbo coincide con el de la perforación.

Largo bulbo

Introducir el largo del tramo de perforación necesario para alcanzar los estratos de terreno donde transferir la carga: este dato es necesario para los micropilotes TUBIFIX: a partir de la profundidad alcanzada con este dato, viene realizado a partir del bulbo del micropilote. Para los micropilotes Raíz, sin el bulbo el largo del fusto es de considerarse como tramo sin influencia sobre la capacidad de carga del micropilote, por lo tanto va considerada lo más corta posible (de 10-20 cm aprox.): para esta tipología el largo complesivo del micropilote tiene que coincidir con el largo del bulbo (ver el paso siguiente).

Largo bulbo

Introducir el largo del tramo de perforación en el cual es presente el tramo de la válvula del tubo, para la formación del bulbo, en el caso del micropilote TUBIFIX. Para los micropilotes Raíz el largo del bulbo tiene que coincidir con aquella complesiva por el micropilote.



Nota: En el micropilote la capacidad de carga es evaluada considerando la reacción solo en el tramo del largo del bulbo.

Color tipología

Elegir un color para representar el elemento micropilote de la paleta de colores.

Opción cálculo cap. de carga

Para el cálculo de la capacidad de carga del micropilote se proponen dos teorías: Método de Mayer y Método de Bustamante e Doix.



Nota: Para el Método de Bustamante e Doix. es necesario introducir la presión límite de inyección (Ver [Notas teóricas](#)^[68])

Carga última horizontal

Para los micropilotes bajo cargas transversales es necesario realizar también la verificación de carga límite horizontal. Ver notas de **Broms** en [Notas teóricas](#)^[65].

En los casos de mecanismo de ruptura de pilote largo, la formación de una rótula plástica en correspondencia del momento máximo, comporta la determinación del momento de la sección: M_{ult} viene evaluado por el programa en base a la armadura.

Para los micropilotes armados con tubular el programa hará referencia a la sección del tubo a elección del usuario; para los micropilotes armados con barras de acero, será solicitado el número supuesto de barras por utilizar: es este caso es aconsejable realizar tal verificación luego de haber realizado el cálculo estructural de máxima. El diámetro es asumido por el programa por el valor introducido en la ficha Sección con barras.

11 Geometría terreno y n. Freático

Perfil terreno

Viene definido el perfil del terreno con el largo de los tirantes a derecha e izquierda del pilote o micropilote. Esta indicación tiene validez solo en el gráfico.

Excavación

Definir el ancho y profundidad en el cual es colocada la cimentación. El valor de la profundidad de la excavación es considerada por el programa para la determinación de la tensión litostática.

Geometría n. freático

Introducir la profundidad del n. freático sobre el campo. Para los estratos del terreno interesados por la presencia de agua va introducido el peso específico saturado: en condiciones con drenaje el programa evalúa la tenciones eficaces calculando el peso específico como $\gamma_{sat} - \gamma_w$, mientras que para la condición sin drenaje el programa considera el γ_{sat} . La profundidad introducida con el signo "-" permite considerar el nivel de agua por arriba del plano en la evaluación de la presión neutra (agua) el programa considera tal nivel.

12 Cargas

Para asignar las cargas sobre el elemento estructural seleccionar el comando Cargas desde Menú Datos. La ventana de asignación de cargas se presenta de la siguiente figura:

Carichi ×

i Convenciones
La eficacia de un grupo de pilotes se define como el cociente de la capacidad de carga del grupo de pilotes entre la suma de las capacidades de cada pilote.

Combinaciones de carga

Número de combinaciones

Combinación

Cargas

Z [m]	Fo [kN]	M [kNm]	Fv [kN]
1	100	100	100


OK Anular ?

Ventana datos cargas

En el recuadro evidenciado en rojo va introducido el número de combinaciones que se quieran examinar; cada combinación es identificada por le número de orden (recuadro verde) y por un nombre que puede ser asignado por el usuario (recuadro azul).

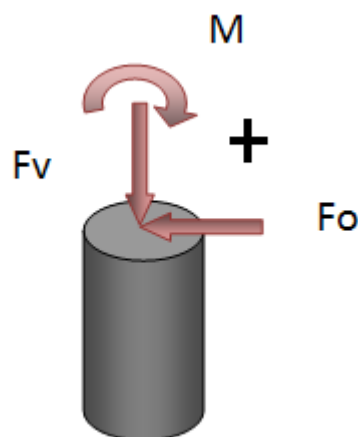
Cada combinación es definida por un cierto número de condiciones de cargas (recuadro amarillo) identificadas por una fuerza horizontal F_o , Vertical F_v , por el momento M y por la profundidad Z . La combinación actual va seleccionada desde la lista Número de combinaciones con un click del mouse.

Las combinaciones definidas en esta ventana serán usadas por el programa para identificar la combinación actual ya sea en los cálculos que en el área de trabajo.

 **Nota:** Las condiciones de carga F_o , F_v e M tendrán que ser introducidas ya sean amplificadas o reducidas por el factor de combinación.

Convenciones de signos sobre las fuerzas

Para las convenciones sobre las cargas, tomar como referencia la siguiente figura:



Convención positiva de las cargas

12.1 Importación de cargas desde Microsoft Excel

Introducción

En la ventana de carga, puede hacer clic en el botón «Importar desde Excel» para iniciar el procedimiento de adquisición de datos de pruebas y combinaciones a partir de un archivo '.xlsx'.

Convenciones
Fuerzas horizontales (Fo) positivas de derecha a izquierda.
Fuerzas verticales (Fv) positivas hacia abajo. Pares (M) positivos en la dirección de las agujas del reloj.

Combinaciones de carga

Número de combinaciones: 0

Combinación: [dropdown] [input] [button]

Es posible importar los valores de las combinaciones desde un archivo de Excel. **Importar desde Excel**

Cargas

	Z [m]	Fo [kg]	M [kgm]	Fv [kg]

OK Anular

Formateo de archivos Excel

Los archivos de Excel pueden tener 3 columnas (Fmax, Fz y Mmax, no necesariamente en ese orden) o 5 columnas (Fx, Fy, Fz, Mx y My) como se muestra en el ejemplo.

	C	D	E	F	G	H	I	J
4		Fx	Fy	Fz	Mx	My		
5		865	-4131	36553	-2	1697		
6		-1218	-7889	-3579	-85	188		
7		-250	-7680	3928	-16	1616		
8		-536	-12422	205	-27	557		
9		28	-14175	-254210	-373	-4223		
10		-101	-22709	-427952	-622	-7814		
11		4009	3501	-36112	1143	1144		
12		1232	1059	-73694	-135	5		
13		3130	1947	97802	-742	-793		
14		173	-508	55152	-2434	-2361		
15		2388	2080	-18304	1279	1070		
16		-841	-996	-70460	-316	-516		
17		15364	-19452	928343	2633	27087		
18		9006	-31106	547449	1576	15759		
19		3773	13	11414	254	-30		
20		-1505	-1412	-2428	-811	-331		
21		-932	-10122	106866	120	4771		
22		-1598	-16275	66400	72	2452		
23		-80	-5574	11415	25	1328		
24		-401	-9488	2771	6	471		
25		4285	-2974	269514	-3951	27658		
26		-1726	-6588	156550	-6982	15802		
27		3675	2555	474703	47587	-37615		
28		-1585	-2412	246225	24647	-72497		
29		2126	1986	27726	-145	-88		
30		-347	-302	17313	-1444	-1205		
31		4008	2584	231502	-2513	-2125		
32		618	-818	124331	-5511	-4715		
33		5093	5957	425227	-5543	-5530		
34		1277	2580	239867	-9715	-9717		
35								

Cada línea del archivo xlsx corresponderá en el software a una combinación con una carga. En el caso del ejemplo, las filas 5 a 34 se convertirán en 30 combinaciones.

El software trabaja con Fmax y Mmax: si está utilizando un archivo de 3 columnas, los valores de Fmax se leerán directamente de la columna correspondiente; en el caso de un archivo de 5 columnas, se considerará para Fmax el valor que sea mayor en valor absoluto entre Fx y Fy, conservando el signo (lo mismo se aplica a Mmax a partir de Mx y My).

La ventana de importación

Una vez que haga clic en «Importar desde Excel» en la ventana de carga, verá una ventana dividida esencialmente en dos partes: una para la entrada y otra para la visualización de los datos leídos.

Tras haber elegido el fichero .xlsx que se va a leer, es necesario especificar los parámetros relativos al formato del fichero Excel.

- Tipo de columnas F y M: permite indicar si el fichero tiene 3 columnas (Fmax, Fz, Mmax) o 5 (Fx, Fy, Fz, Mx, My). En el caso del ejemplo, elegimos el tipo con las dos columnas separadas para x e y.
- Número de la primera fila y número de la última fila a leer: es el rango de filas a leer (ambos extremos se incluyen en la lectura). En el caso del ejemplo, las filas van de 5 a 34.
- Nombres de las columnas F y M: son los nombres de las columnas del fichero Excel que hay que leer. En el caso del ejemplo, Fx está en la columna «D», Fy en la «E», Fz en la «F», Mx en la «G» y My en la «H».

Una vez especificados todos los parámetros, al pulsar el botón «Importar» se procesará el archivo para obtener los valores de F(max) Fz y M(max) como se ha descrito anteriormente. Si los datos mostrados en la rejilla de previsualización son correctos, puede proceder a la creación de las nuevas combinaciones pulsando el botón «Aceptar»; en caso contrario, corrija los parámetros establecidos y repita la operación.

Excel Import
✕

Excel File C:\Users\geost\OneDrive\Desktop\TABELLA SINTI 📁

Reading Settings

Column Type F, M Column x + Column y ▾

First Row Number

Last Row Number (included in import)

Column Name Fx, Fy, Fz , ,

Column Name Mx, My ,

Each row of the file will correspond to a combination. If two columns (x, y) are present for F and M, the value considered will be the highest in absolute value (keeping the sign). Click the "Import" button to generate the preview. Then, you can press the "OK" button to confirm the import.

Preview

Combination	F(max)	Fz	M(max)
1	-4131	36553	1697
2	-7889	-3579	188
3	-7680	3928	1616
4	-12422	205	557
5	-14175	-254210	-4223
6	-22709	-427952	-7814
7	4009	-36112	1144
8	1232	-73694	-135
9	3130	97802	-793
10	-508	55152	-2434

Una vez cerrada la ventana de importación de Excel, las nuevas combinaciones con los valores de carga leídos se añadirán en la ventana de carga.

13 Cálculo Cap. de carga

Para el cálculo de la carga límite mediante las fórmulas estáticas utilizar el comando Cap. de carga vertical fórmulas estáticas desde el Menú Cálculo, aparecerá la siguiente ventana:

Capacidad de carga vertical fórmulas estáticas...

Normativa GEO Eurocódigo 7 Descripción DA1 Combinación 1 Opciones de análisis...

Descripción	D [m]	L [m]	Nq	Nc	F/C estrato punta Pilote (°)/[kN/m ²]	Peso pilote [kN]	Svl [kN/m ²]	Carga última por punta [kN]	Carga última lateral [kN]	Carga límite vertical [kN]	Car&ga última horizontal [kN]	
DA1	0.5	6	3.118342	5.820202	20.00/12.0	33.37942	214.742	145.1968	1322.967	1434.785	33.5527 [Largo]	
								Rc, Min	145.20	1322.97	1434.79	33.55
								Rc, Max	145.20	1322.97	1434.79	33.55
								Rc, Med	145.20	1322.97	1434.79	33.55
								Rk	85.41	778.22	843.99	19.74
								Rd [R3]	63.27	676.71	706.60	15.18

Coefficientes parciales resistencias características Factores correlación sondeos Reducción parámetros geotécnicos

Axiales

Pilotes hincados: R1 R2 R3

Pilotes barrenados: R1 R2 R3

Pilotes helicoidales: R1 R2 R3

T. clásica:

Base	γ_b	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1.45"/>	<input type="text" value="1.15"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1.7"/>	<input type="text" value="1.35"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1.6"/>	<input type="text" value="1.3"/>	<input type="text" value="2.5"/>
Lateral compresión	γ_s	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1.45"/>	<input type="text" value="1.15"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1.45"/>	<input type="text" value="1.15"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1.45"/>	<input type="text" value="1.15"/>	<input type="text" value="2.5"/>
Total	<input type="checkbox"/> γ_t	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1.45"/>	<input type="text" value="1.15"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1.6"/>	<input type="text" value="1.3"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1.55"/>	<input type="text" value="1.25"/>	<input type="text" value="2.5"/>
Lateral tracción	$\gamma_{s;t}$	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1.6"/>	<input type="text" value="1.25"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1.6"/>	<input type="text" value="1.25"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1.6"/>	<input type="text" value="1.25"/>	<input type="text" value="2.5"/>

Transversales

R1

R2

R3

Asumir por defecto

Ventana de cálculo Cap. de carga vertical

El cálculo de la cap. de carga puede ser realizado según distintos acercamientos de normativa (recuadro rojo):

Clásica

Se trata de un acercamiento de la cap. de carga admisible, en la cual la carga límite de punta y aquel lateral son distintos para un factor de seguridad F_s que puede ser diferenciado entre punta lateral, y total.

Eurocódigo 7

El acercamiento seguido por el Eurocódigo 7, según el cual se puede usar tres alternativas Design Approach (DAs).

Por cada estratigrafía definida en Características geotécnicas, el programa realiza el cálculo de la carga límite de punta, aquel lateral y aquel total. En particular, este último es definido de la siguiente manera:


$$Q_{\text{lim T}} = Q_{\text{lim P}} + Q_{\text{lim L}} - W_p \quad \text{si el pilote es a compresión.}$$

$$Q_{\text{lim T}} = Q_{\text{lim P}} + Q_{\text{lim L}} + W_p \quad \text{si el pilote es a tracción}$$

en el cual:

- $Q_{\text{lim P}}$ es la carga límite de punta;
- $Q_{\text{lim L}}$ es la carga límite lateral;
- W_p es el peso del pilote.

En los resultados de cálculo, el programa otorga valores mínimo ($R_{c,\text{min}}$), máximo ($R_{c,\text{max}}$) y medio ($R_{c,\text{med}}$) de la carga límite, por lo tanto aquel característico R_k y de proyecto R_d .


 **Nota:** El factor de seguridad vertical F_s es generado por el programa solo en presencia de una carga vertical asignada por el usuario en la ventana cargas. Los resultados visualizados a video se refieren a la combinación de carga actual señalada.

En la caracterización de los terrenos, los parámetros mecánicos característicos tienen que ser determinados a partir de una serie de estudios, el volumen significativo (parte del subsuelo influenciada, directa o indirectamente, por la construcción del manufacturado) y deben permitir la definición de un modelo geotécnico adecuado. En la siguiente figura, (recuadro rojo), al aumentar las verticales a estudiar corresponde un factor de reducción siempre más pequeño: este en sustancia, se traduce en un efecto penalizante, en términos de resistencia característica, para aquellos proyectos en el cual el programa de los estudios es escaso.

Coefficientes parciales resistencias características **Factores correlación sondeos** Reducción parámetros geotécnicos

Factores de correlación función del número de verticales examinadas

Verticales examinadas	1	2	3	4	5	7	>10	<input type="checkbox"/> Usuario
ξ_3	1.7	1.65	1.6	1.55	1.5	1.45	1.4	1
ξ_4	1.7	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21	1

 De acuerdo con los procedimientos analíticos que implican el uso de los parámetros geotécnicos o de los resultados de ensayos in situ, el valor característico de la resistencia está dado por el menor de los valores obtenidos, aplicando a las resistencias características calculadas los factores de correlación de la tabla, función del número de sondeos.

Asumir por defecto

Factores ξ_i sobre el número de verticales estudiadas

Para los acercamientos proyectuales que necesiten los parámetros característicos reducidos, es posible activar un factor de reducción M_i (recuadro verde) de la siguiente figura:

Coeficientes parciales parámetros geotécnicos terreno		M1	M2
Tangente ángulo de resistencia al corte	$\text{Tan}(\varphi_k)$	1	1.25
Cohesión eficaz	c'_k	1	1.25
Resistencia no drenada	c_{uk}	1	1.4
Peso específico	γ	1	1

Seleccionando la columna M2 se aportan las reducciones sobre los parámetros geotécnicos, en tal caso es necesario elegir los coeficientes R de forma adecuada.

Asumir por defecto Cálculo Cerrar ?

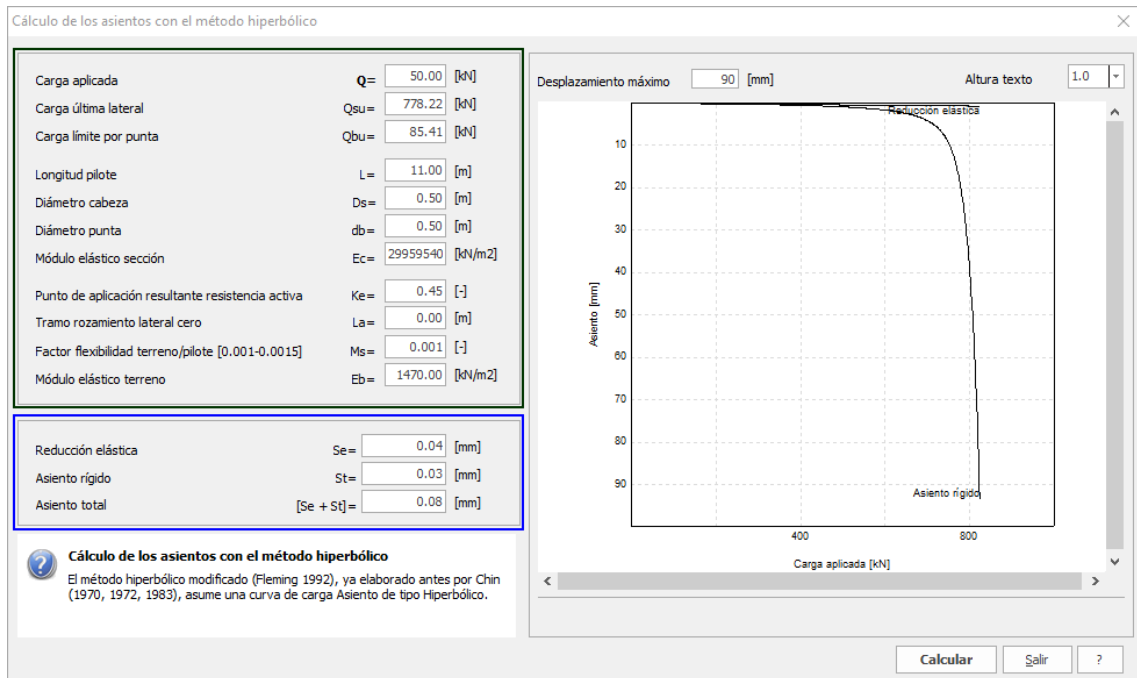
Factores M_i sobre parámetros característicos

Recordamos que tales factores pueden ser editados por el usuario según las exigencias del cálculo.

14 Cálculo asientos

Para el cálculo de asientos viene visualizado el cálculo de asientos es visualizado el método hiperbólico ver [Notas teóricas](#) ^[74].

El ambiente de trabajo para el asiento es representado es representado por la siguiente figura:



Cálculo asientos

El programa, en base de las expresiones del asiento obtenido por Fleming, obtiene una curva acero-asiento que tiende asintóticamente a la carga límite en la hipótesis del pilote rígido. La carga límite es determinado como suma de la capacidad de carga lateral y aquella de punta obtenidos por el cálculo anterior en la carga límite. Si este último ha sido realizado sobre más verticales de estudio, El programa considera el mínimo de entre los calculados.

Para determinar el asiento correspondiente al nivel de carga deseado, ocurre introducir el valor **Q** (*carga aplicada*) y confirmar con el pulsante **Calcular**.

El asiento total es definido como suma del **asiento rígido** (hipótesis del pilote rígido), marcado sobre la curva hiperbólica y de la **reducción elástica** del elemento estructural, marcado sobre la recta.

Los parámetros necesarios para calcular los dos componentes de asientos son calculados por el programa, de todas formas el usuario tiene siempre la posibilidad de intervenir y cambiar los valores.

Además, moviéndose con el mouse sobre el gráfico, se obtiene el valor del asiento total en correspondencia del nivel de carga.

15 Cálculo estructural

El cálculo estructural del pilote va realizado por el programa recurriendo al método FEM: en pilote es discretizado en un cierto número de elementos beam a los cuales

los extremos (nudos) son aplicados por resortes que esquematizan el terreno (ver [Método de elementos Finitos](#) ⁴⁶).

El método utilizado tiene la ventaja de poder introducir por cada nudo ya sean las condiciones de carga (recuadro azul) que las condiciones del entorno (recuadro verde).

Modelo elementos finitos

Opciones de análisis

Máx. desplazamiento lineal del terreno: 0.0127 cm

Tipo análisis: No lineal

Máximo número de iteraciones: 1

Factor de reducción resorte fondo excavación: 1

Número de elementos: 9

Nodo en superficie del terreno [$< n^{\circ}$ nodos]: 3

Coefficiente de balasto Ks: Bowles

Ks variable según la profundidad: No variable

$Ks = As + Bs * z^n$ n: 0 As: 0 Bs: 0 kN/m³

Normativa STRU

NTC EC2

Cargas

Combinación: 1

Nodo	Fo [kN]	M [kNm]	Fv [kN]
1	15	25	25

Interacción cinem..

Nodo	M [kNm]
1	

Condiciones de contorno

Nodo	Tipo	Sp. X (m)	Rot. Y (°)
1			

Rotación Desplazamiento

Resultados análisis solicitaciones Resultados análisis estructural

Nodo	Longitud [m]	Ks [kN/m ³]	Esfuerzo normal [kN]	Momento [kNm]	Corte [kN]	Reacción resorte [kN]	Rotación (°)	Desplazamiento [m]	Presión terreno [kN/m ²]
1.00	0.25	0	25	25	15.06	-0.05	-0.005	0.0018	0
2.00	0.25	0	26.23	21.24	14.86	0.21	-0.009	0.0018	0
3.00	1.71	5633.07	27.45	17.52	10.29	4.57	-0.012	0.0018	9.939
4.00	1.71	5633.07	35.87	-0.12	4	6.29	-0.021	0.0012	6.857
5.00	1.71	8024.21	44.28	-6.97	-0.09	4.08	-0.018	0.0006	4.946
6.00	1.71	8024.21	52.7	-6.82	-1.47	1.38	-0.01	0.0002	1.613
7.00	1.71	8024.21	61.11	-4.31	-1.41	-0.06	-0.004	0	-0.072
8.00	1.71	8024.21	69.53	-1.89	-0.85	-0.56	-0.001	-0.0001	-0.648
9.00	1.71	8024.21	77.94	-0.43	-0.25	-0.6	0	-0.0001	-0.697
10.0		8024.21	86.36	0	0	0	0	0	0

Momento

Ambiente de trabajo para el cálculo estructural


En el panel de cargas se proponen las combinaciones de carga asignadas por el usuario en Cargas del menú Datos.

La visualización de los resultados, ya sea en términos de solicitaciones que de análisis estructural, se refiere a la combinación de carga actual visualizada en el cuadro azul.

Definido en los Eurocódigos para pilotes de cimentación, se asumió un comportamiento NO disipativo.

Este comportamiento, «sustancialmente elástico», implica que el momento resistente último (capacidad) corresponde al de «primera cedencia», según lo definido en los Eurocódigos. Es decir, se considera el momento indicado como M^yd, que representa el momento resistente máximo de la sección

dentro del campo sustancialmente elástico. Por lo tanto, el programa calcula este momento M'_{yd} como el momento último, equivalente al momento de primera fluencia.

 **Nota:** Las condiciones de carga F_o , F_v e M tendrán que ser introducidas a partir del nudo 1 a seguir.

Las solicitaciones restituídas por el programa en la ficha de análisis de las solicitaciones son comprensivas de las solicitaciones adicionales de interacción cinemática (ver [Acción sísmica](#)^[18]): los momentos cinemáticos calculados por el programa son visualizados en frame Inter. cinemática en correspondencia del nudo de pasaje entre los estratos de distinta rigidez.

Resultados de análisis estructural

El ambiente en el cual se muestran los resultados del análisis estructural representado en la siguiente figura:

Resultados análisis solicitaciones		Resultados análisis estructural										
Nodo	Z [m]	Nd [kN]	Md [kNm]	Td [kN]	Nr. Barras diámetro	Nu [kN]	Mu [kNm]	Cond. Verificación a flexión	Ver. Flexión-compuesta	Def.Máx. Horm.	Def.Máx. Fe	Eje Neutro [cm]
1	0	25.00	25.00	15.06	12Ø8	25.07	53.79	2.15	Verificada	3.50E-03	-1.80E-02	17.26
2	0.25	26.23	21.24	14.86	12Ø8	26.24	54.01	2.54	Verificada	3.50E-03	-1.79E-02	17.23
3	0.5	27.45	17.52	10.29	12Ø8	27.46	54.23	3.10	Verificada	3.50E-03	-1.78E-02	17.20
4	2.21428	35.87	-0.12	4.00	12Ø8	35.94	-55.80	472.25	Verificada	3.50E-03	-1.72E-02	-16.97
5	3.92857	44.28	-6.97	-0.09	12Ø8	44.25	-57.33	8.23	Verificada	3.50E-03	-1.66E-02	-16.73
6	5.64285	52.70	-6.82	-1.47	12Ø8	52.72	-58.87	8.63	Verificada	3.50E-03	-1.61E-02	-16.51
7	7.35714	61.11	-4.31	-1.41	12Ø8	61.14	-60.39	14.03	Verificada	3.50E-03	-1.55E-02	-16.27
8	9.07142	69.53	-1.89	-0.85	12Ø8	69.53	-61.80	32.63	Verificada	3.50E-03	-1.51E-02	-16.08
9	10.7857	77.94	-0.43	-0.25	12Ø8	77.88	-63.15	145.29	Verificada	3.50E-03	-1.48E-02	-15.91

Ambiente resultados análisis estructural

En cada nudo se muestran las condiciones de verificación sea flexión compuesta a corte. Para el modelo el cálculo pasa a la sección [Hierros ejecutivos](#)^[49].

15.1 Método Elementos Finitos

Según el método a elementos finitos, el terreno va esquematizado con resortes cuyas características dependen de los módulos de elasticidad del terreno, diferenciando, aquellos en compresión de aquellos en tracción. Bowles propone de calcular, en modo aproximado, el valor de K_s (módulo de reacción conectado a la rigidez del terreno) en la base de la capacidad de carga de las cimentaciones. El método en cuestión otorga directamente, una vez construida la matriz de rigidez global y el vector de los nudos de cargas, los desplazamientos generalizados y de entre estos, los momentos y las reacciones de los nudos. Para el cálculo del pilote se procede de la siguiente manera:

- Cálculo del valor K ;
- Disposición de los nudos en los cual serán asignadas las rigidezas de los resortes;
- Cálculo del momento de inercia de la sección;
- Ensamblaje de la matriz de rigidez global;
- Ensamblaje de los vectores de cargas de los nudos;
- Cálculo de los desplazamientos de nudos;

El cálculo se resuelve a través de un proceso de tipo iterativo. Las iteraciones continúan hasta el número de iteraciones máximo introducido por el usuario: si la convergencia de los resultados es obtenida antes, el programa arresta el cálculo. El ambiente para la gestión de algunos datos relativos a la implementación del método de los elementos finitos es el siguiente (recuadro rojo):

Modelo elementos finitos

X

Opciones de análisis

Máx. desplazamiento lineal del terreno cm

Tipo análisis

Máximo número de iteraciones

Factor de reducción resorte fondo excavación

Número de elementos

Nodo en superficie del terreno [$< n^{\circ}$ nodos]

Coefficiente de balasto Ks

Ks variable según la profundidad

Ks=As+Bs*z^n n: As: Bs: kN/m³

Cargas

Combinación

Nodo	Fo [kN]	M [kNm]	Fv [kN]
1	15	25	25

Interacción cinem..

Nodo	M [kNm]
1	

Condiciones de contorno

Nodo	Tipo	Sp. X (m)	Rot. Y (°)
1			

Rotación Desplazamiento

Normativa STRU

NTC EC2

Resultados análisis solicitaciones Resultados análisis estructural

Nodo	Longitud [m]	Ks [kN/m ³]	Esfuerzo normal [kN]	Momento [kNm]	Corte [kN]	Reacción resorte [kN]	Rotación (°)	Desplazamiento [m]	Presión terreno [kN/m ²]
1.00	0.25	0	25	25	15.06	-0.05	-0.005	0.0018	0
2.00	0.25	0	26.23	21.24	14.86	0.21	-0.009	0.0018	0
3.00	1.71	5633.07	27.45	17.52	10.29	4.57	-0.012	0.0018	9.939
4.00	1.71	5633.07	35.87	-0.12	4	6.29	-0.021	0.0012	6.857
5.00	1.71	8024.21	44.28	-6.97	-0.09	4.08	-0.018	0.0006	4.946
6.00	1.71	8024.21	52.7	-6.82	-1.47	1.38	-0.01	0.0002	1.613
7.00	1.71	8024.21	61.11	-4.31	-1.41	-0.06	-0.004	0	-0.072
8.00	1.71	8024.21	69.53	-1.89	-0.85	-0.56	-0.001	-0.0001	-0.648
9.00	1.71	8024.21	77.94	-0.43	-0.25	-0.6	0	-0.0001	-0.697
10.0		8024.21	86.36	0	0	0	0	0	0

Desplazamiento

Ambiente para la gestión del cálculo con el método de todos los elementos finitos

Los datos por introducir son los siguientes:

Max desplazamiento lineal del terreno

Expresado en cm. Es el máximo desplazamiento del terreno que permite considerar el terreno en campo lineal. Superado este desplazamiento el resorte que esquematiza el terreno no puede ser considerado en campo elástico lineal (depende bastante de las características del terreno en cada caso. Orden de grandeza = 1-2 cm);

Tipo análisis

Define si el análisis conducido es de tipo lineal o no lineal.

Se aconseja el análisis no lineal cuando la estática del problema depende del aspecto geotécnico del problema.

Máximo número de iteraciones

Es el máximo número de iteraciones a realizar para buscar la solución a los desplazamientos. Superado este límite la solución va considerada sin encontrar (relativamente a la práctica actual el orden de grandeza = 5/10 iteraciones);

Factores de reducción del resorte del fondo excavación

Es un factor sin unidad de medida que va a multiplicar, reduciendo el módulo de reacción del resorte situado en el fondo de la excavación. Tiene que asumir un valor menor o igual a 1.

Número de elementos

Tiene que ser comprendido entre 10 y 50. Es el número de elementos finitos en el cual va discretizado el elemento estructural. Es oportuno realizar una discretización racional, ni demasiado distante, para evitar errores en la solución ni demasiado cercanas, para evitar que los tiempos de cálculo se extiendan con notoriedad.

Número sobre la superficie del terreno

Define cual nudo asociar al fondo de la excavación. Se aconsejan utilizar los primeros 2 o 3 nudos.

Módulo de reacción

El cálculo de la rigidez de los resortes que esquematizan el terreno puede ser conducido según el método de **Bowles** (*Cap. de carga*) y de **Chiarugi -Maia**:

- **Cap. de carga**

Según dicho método basado sobre la carga límite del terreno, el módulo de reacción ca calculado e la siguiente manera:

$$k_s = A_s + B_s \cdot z^n$$

El usuario puede introducir manualmente los parámetros A_s , B_s y n para realizar una estimación personalizada.

- **Chiarugi - Maia**

El método calcula el módulo de reacción en función del diámetro, de la palificada y del coeficiente de Poisson. La fórmula aplicada para calcular el módulo de reacción con este método es el siguiente:

$$k_s = \frac{E_{ed}}{D \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left(\frac{E_{ed} D^4}{EJ} \right)^{\frac{1}{12}}$$

En la fórmula anterior E_{ed} es le módulo edométrico del terreno, D es el diámetro del pilote, ν es el coeficiente de Poisson y EJ es la rigidez flexión de la palificada.

Ks variable con la profundidad

Es posible tener cuenta de la variabilidad del módulo de reacción o también conducir el análisis con el módulo de reacción constante.

15.2 Hierros ejecutivos

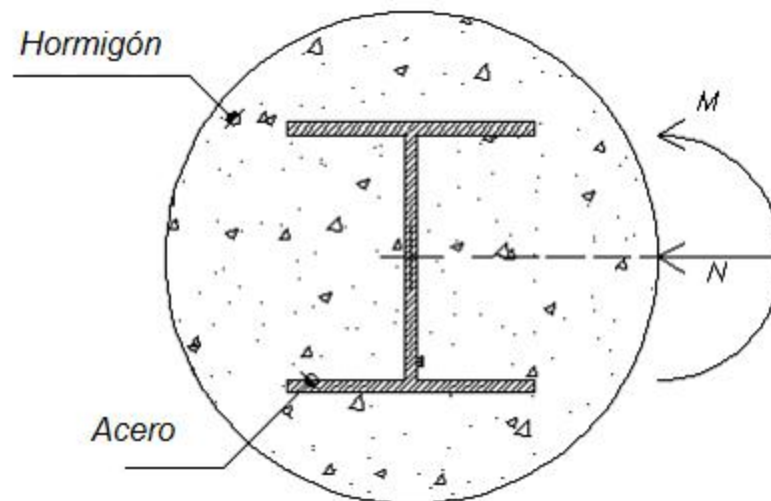
La visualización de la armadura es posible solo luego de haber realizado el cálculo estructural. La armadura es diseñada por todo el largo del pilote en base a las solicitaciones máximas flexión y corte.

Para las verificaciones a secciones circulares en CA a los SLU con barras, se aconseja utilizar el software RC-SEC producido por GeoStru, para el modelo utilizado en las secciones con tubular la referencia se muestra a continuación.

Modelo de cálculo para la verificación a flexión compuesta de una sección circular de hormigón armado y acero.

El problema puesto es el siguiente:

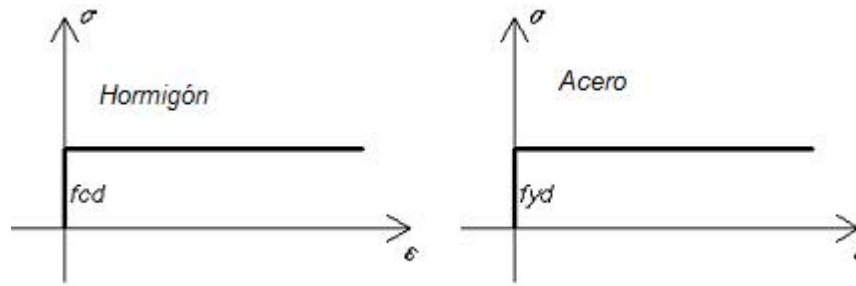
Determinar las condiciones de verificación de una sección circular mixta compuesta por hormigón armado y acero. Para fijar las ideas ver la siguiente figura:



Esquema de cálculo de la sección

Hipótesis de base

Las hipótesis esenciales tienen el comportamiento mecánico de los materiales que forman la sección. En particular se asume, para ambos materiales un comportamiento de tipo rígido plástico (ver la siguiente figura):



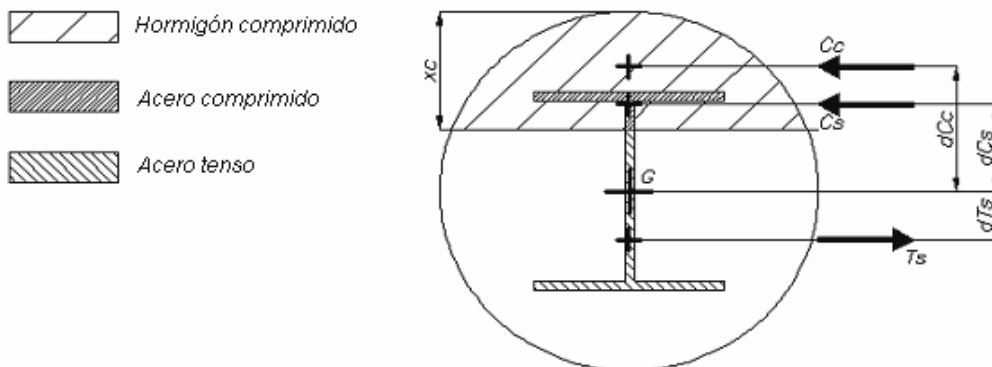
Modelos adoptados

El cálculo del dominio de interacción

El cálculo de dominio de interacción es realizado haciendo variar la profundidad del eje neutro x_c de cero al valor del diámetro de la sección. por cada profundidad del eje neutro se determina la copia de solicitaciones últimas de la sección (M_u , N_u) hasta construir la entera frontera del dominio de interacción. El cálculo de las últimas va realizado según el siguiente esquema:

1. Fijar la profundidad del eje neutro x_c ;
2. Cálculo del esfuerzo normal último de la sección, teniendo en cuenta la contribución del cemento armado comprimido, del acero comprimido y del acero tenso (el acero tenso no es relevante);
3. Cálculo del momento último de la sección, teniendo en cuenta el aporte del hormigón armado comprimido, del acero comprimido y del acero tenso (el hormigón comprimido no es relevante)

Nota: El cálculo del momento último de la sección es realizado con respecto al baricentro de la sección.



Esquema para el cálculo de las solicitaciones últimas

En la figura anterior:

1. C_c es el resultante de las tensiones de compresión en hormigón armado, y dC_c es la relativa distancia desde el baricentro geométrico de la sección;
2. C_s es el resultante de las tensiones de compresión sobre el acero, y dC_s es la relativa distancia desde el baricentro geométrico de la sección;
3. T_s es el resultante de las tensiones de tracción sobre el acero, y dT_s es la distancia relativa desde el baricentro geométrico de la sección;

El esfuerzo normal último, en función de x_c , resulta ser:

$$N_u(x_c) = C_c(x_c) + C_s(x_c) - T_s(x_c)$$

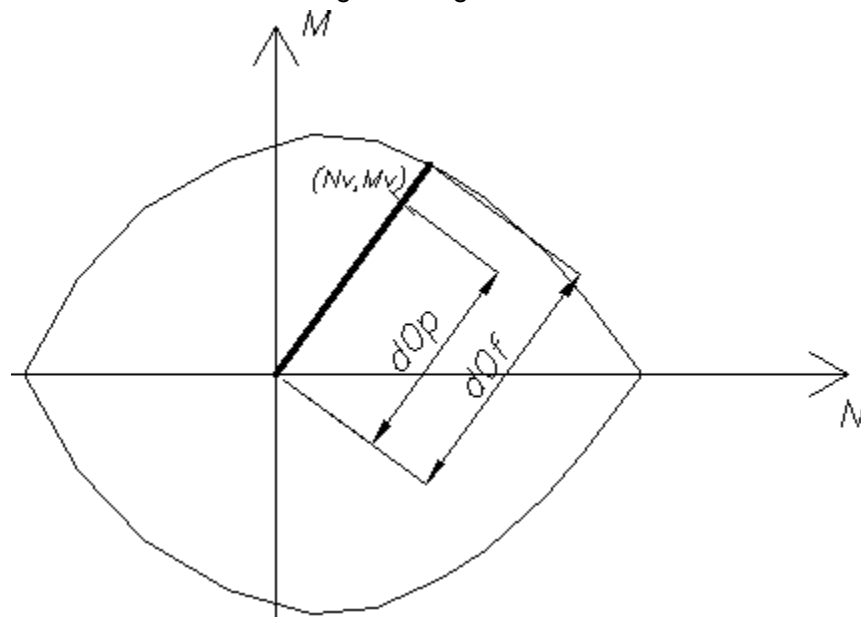
Considerando el esfuerzo normal positivo si de compresión.

El momento último se determina a través de la siguiente relación:

$$M_u(x_c) = C_c(x_c) \cdot dC_c + C_s(x_c) \cdot dC_s - T_s \cdot (x_c) \cdot dT_s$$

Una medida de la seguridad en el recuadro de colpaso flexión compuesta

La medida de seguridad elegida para definir la verificación a flexión compuesta de la sección es evaluada con respecto a la distancia del punto por verificar a la frontera del dominio de interacción. Ver la siguiente figura:



Cálculo del factor de seguridad

Por lo tanto:

1. d_{Of} es la distancia entre el origen del sistema M-N y la frontera del dominio de interacción. Tal distancia va medida por la misma dirección de la línea que une el origen con el punto M_v, N_v .

2. $d0p$ es la distancia entre el origen y el punto en el cual se quiere calcular el factor de seguridad.

3.

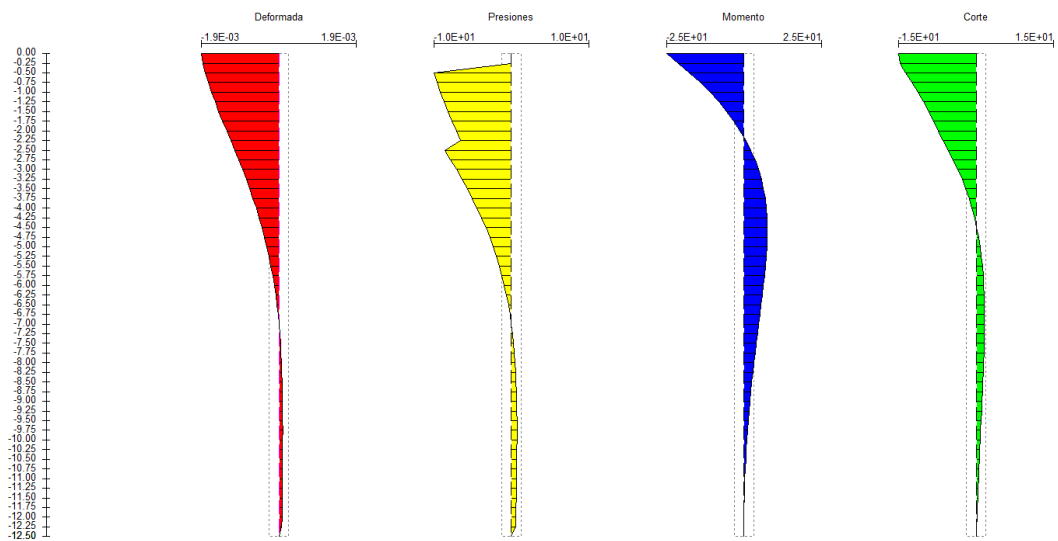
El factor de seguridad es determinado como relación entre $d0f$ e $d0p$:

$$FS = \frac{d0f}{d0p}$$

Si FS es mayor o igual a 1 la sección es verificada.

16 Diagramas solicitaciones

Visualiza los diagramas de las solicitaciones según el ambiente representado en figura



Diagramas

Los diagramas visualizados pueden ser copiados en "Apuntes" para ser pegados en la relación.

17 Cap. de carga fórmulas dinámicas

Para los pilotes hincados la cap. de carga puede ser determinada también utilizando fórmulas dinámicas. El programa propone dos fórmulas: Janbu y aquella danesa. ver también [Notas teóricas](#)^[53].

El ambiente para el cálculo con las fórmulas dinámicas se representa en figura:

Parámetro	Valor	Unidad
Longitud pilote	12.5	m
Módulo elástico sección	29380	MN/m ²
Área	0.19634	m ²
Peso pilote	60.1738	kN
Peso martillo	25	kN
Eficacia del martillo (0.75-1)	1	
Altura caída martillo	6	m
Hundimiento pilote por golpe	4	m

Capacidad vertical	
JANBU, DANESE	16.8760 37.4325 kN

Cap. de carga fórmulas dinámicas

Los datos solicitados para la aplicación de la teoría dinámica son:

Largo pilote

Introducir el largo del elemento estructural en la unidad de medida especificada.

Módulo elástico sección


Introducir el módulo elástico en la unidad de medida especificada.

Área

Introducir el área de la sección del pilote en la unidad de medida especificada.

Peso pilote

Introducir el peso de pilote.

 **Nota:** Las cantidades son calculadas en automático por el programa en base a los datos de input introducidos para el cálculo de la cap. de carga con las fórmulas estáticas.

Peso martillo

Introducir el peso del martillo.

Eficiencia del martillo

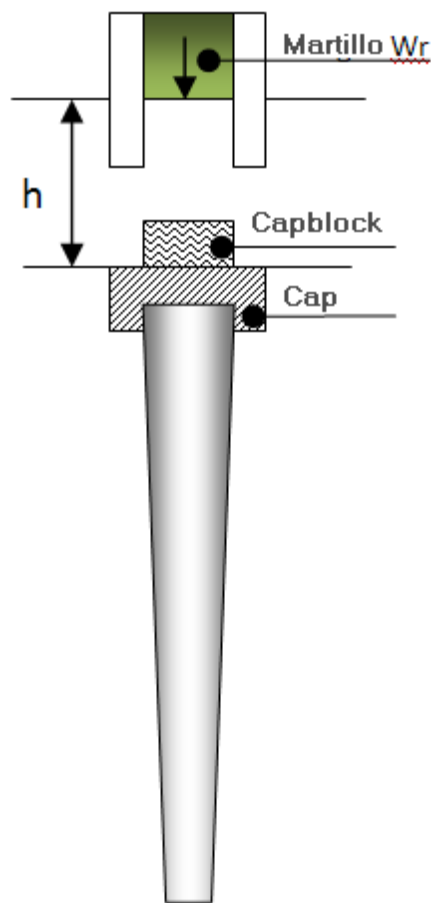
Introducir un coeficiente de eficiencia del martillo.

Altura caída martillo

Altura en la cual va dejado caer el martillo (*ver figura abajo*).

Hundimiento pilote por golpe

Indicar cuanto se hunde el pilote por un golpe.



Esquema de cálculo fórmulas dinámicas

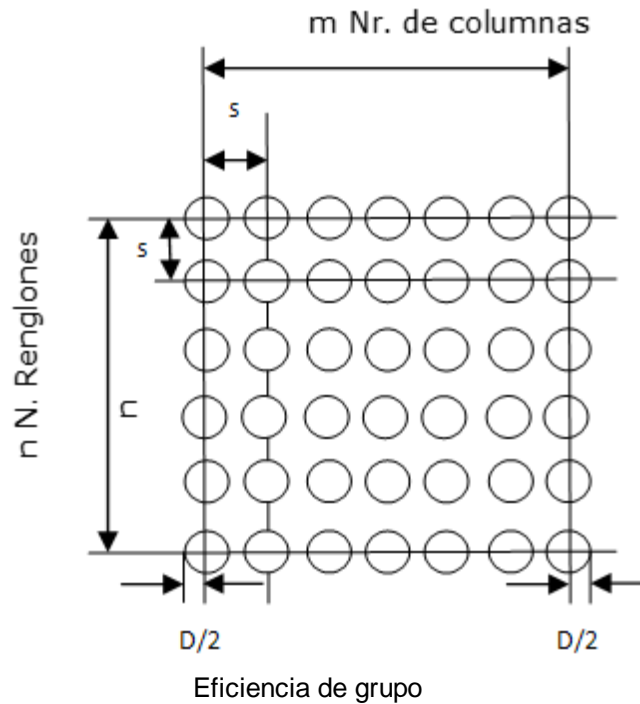
18 Cap. de carga de grupo

Cuando varios pilotes con unidos entre por una única plancha, surge el problema del grupo de pilotes. Viene espontáneo afirmar que la cap. de carga de la palificada es igual que a la suma de la cap. de carga de cada elemento individual, existen diversas opiniones que con el tiempo han llevado a introducir el concepto de eficiencia de pilotes en grupo. La eficiencia E_g va definida de la siguiente manera:

En este trabajo, la eficiencia de la palificada es calculada según la notoria expresión de Converse-Labarre:

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n-1) \cdot m + (m-1) \cdot n}{90 \cdot m \cdot n}$$

donde m , n y D son indicados en la figura de abajo y $\theta = \tan^{-1}D/s$. Dicha fórmula es limitada a la disposición de los pilotes a rectángulos.



La eficiencia es devuelta por el programa desde el Menú Cálculo, seleccionando el comando Eficiencia palificada. Los datos solicitados son:

- Número de pilotes por fila n
- Número de filas m
- Diámetro pilotes
- Interejes pilotes

Los vales de la eficiencia son devueltos en formato texto h .

$$Q_{\text{lim,pal}} = Q_{\text{lim}} \cdot p \cdot m \cdot n \cdot h$$

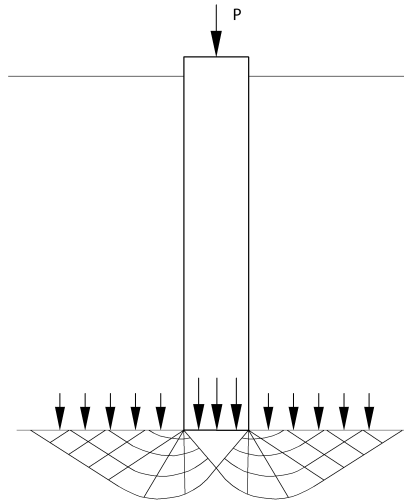
19 Notas teóricas

19.1 Carga límite de punta

Fórmula de Terzaghi

La solución propuesta por Terzaghi asume que el terreno existente de arriba de la profundidad alcanzada por la punta del pilote pueda ser cambiado por una

sobrecarga equivalente igual a la tensión vertical eficaz (dejando de lado la interacción entre pilote y terreno de cimentación) y conduce el análisis al problema de cap. de carga de una cimentación superficial.



La fórmula de **Terzaghi** se puede escribir:

$$Q_p = c \cdot N_c \cdot s_c + \gamma \cdot L \cdot N_q + 0.5 \cdot \gamma \cdot D \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma$$

donde:

$$N_q = \frac{a^2}{2 \cos^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)}$$

$$a = e^{(0.75\pi - \phi/2) \tan \phi}$$

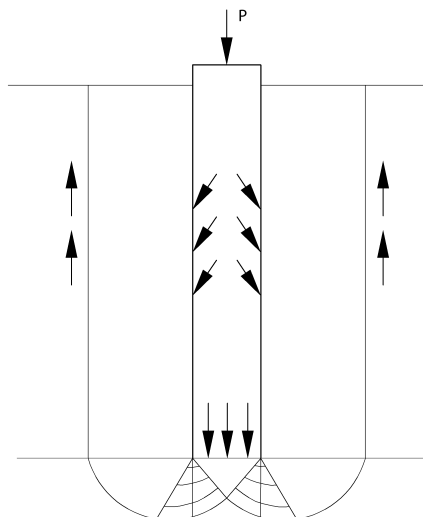
$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$$

$$N_\gamma = \frac{\tan \phi}{2} \left(\frac{K_{p\gamma}}{\cos^2 \phi} - 1 \right)$$

ϕ , gradi	N_c	N_q	N_γ	K_{pT}
0	5.7	1.0	0.0	10.8
5	7.3	1.6	0.5	12.2
10	9.6	2.7	1.2	14.7
15	12.9	4.4	2.5	18.6
20	17.7	7.4	5.0	25.0
25	25.1	12.7	9.7	35.0
30	37.2	22.5	19.7	52.0
34	52.6	36.5	36.0	
35	57.8	41.4	42.4	82.0
40	95.7	81.3	100.4	141.0
45	172.3	173.3	297.5	298.0
48	258.3	287.9	780.1	
50	347.5	415.1	1153.2	800.0

Método de Berezantzev

principalmente Berezantzev hace referencia a una superficie de desplazamiento “a la Terzaghi” que se arresta sobre el plano de apoyo (punta del pilote); todavía considera que el cilindro del terreno coaxial al pilote con diámetro igual a la extensión en sección a la superficie de desplazamiento, ya sea en parte “sostenido” para acción tangencial del terreno restante a través de la superficie lateral. Le sigue un valor de la presión a la base inferior a γD .



La resistencia unitaria Q_p a la punta, para el caso de terreno dotado de rozamiento (ϕ) y de cohesión (c), es dada por la expresión:

habiendo indicado con:

γ = peso específico terreno;

L = longitud del pilote;

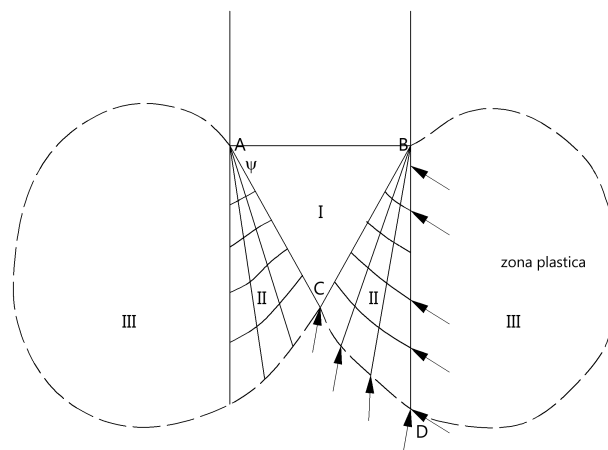
N_c e N_q = son los factores de cap. de carga ya comprendidos por el efecto de forma (circular).

Método de Vesic

Vesic ha asimilado el problema de la ruptura alrededor de la punta del pilote a aquel de expansión de una cavidad en medio elástico-plástico, en modo de tener cuenta la compresibilidad del medio.

Según los coeficientes de capacidad de carga N_q y N_c se pueden calcular de la siguiente manera:

$$N_q = \frac{3}{3 - \sin \phi} \left\{ \exp \left[\left(\frac{\pi}{2} - \phi \right) \tan \phi \right] \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) I_{rr}^{(4 \sin \phi) / [3(1 + \sin \phi)]} \right\}$$



El índice de rigidez reducido I_{rr} en la expresión anterior es calculado a partir de la deformación volumétrica ε_v .

$$I_{rr} = \frac{I_r}{1 + I_r \cdot \varepsilon_v}$$

El índice de rigidez I_r se calcula utilizando el módulo de elasticidad tangencial G' es la resistencia a corte s del terreno.

Cuando se tienen condiciones sin drenaje o el suelo se encuentra en un estado denso, el término ε_v puede ser asumido igual a cero y se obtiene $I_{rr} = I_r$.

Es posible realizar una estimación de I_r con los siguientes valores:

Terreno	I_r
Arena	75-150
Limo	50-75
Arcilla	150-250

N_c de la cap. de carga es calculado:

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi \quad (a)$$

Cuando $\phi = 0$ (condiciones sin drenaje):

$$N_c = \frac{4}{3} (\ln I_{rr} + 1) + \frac{\pi}{2} + 1$$

Método de Janbu

Janbu calcula N_q (con el ángulo ϕ y expresado en radianes) como sigue:

$$N_q = \left(\tan \phi + \sqrt{1 + \tan^2 \phi} \right)^2 \exp(2\psi \tan \phi)$$

N_c se puede obtener de la (a) cuando $\phi > 0$.

Para $\phi = 0$ se usa $N_c = 5.74$

Fórmula de Hansen

La fórmula de Hansen vale para cualquier relación D/B , por lo tanto ya sea para cimentaciones profundas, pero el mismo autor introduce los coeficientes para interpretar mejor el comportamiento real de la cimentación, sin los cuales se producirían demasiado fuertes las cargas límite con la profundidad.

Para valores $L/D > 1$:

$$d_c = 1 + 0.4 \tan^{-1} \frac{L}{D}$$

$$d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \tan^{-1} \frac{L}{D}$$

En el caso $\phi = 0$:

D/B	0	1	1.1	2	5	10	20	100
d'_c	0	0.40	0.33	0.44	0.55	0.59	0.61	0.62

En los siguientes factores las expresiones con ápicos (') valen $f = 0$.

Factor de forma:

$$s'_c = 0.2 \frac{D}{L}$$

$$s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \frac{D}{L}$$

$$s_q = 1 + \frac{D}{L} \tan \phi$$

$$s_r = 1 - 0.4 \frac{D}{L}$$

Factor de profundidad:

$$d'_c = 0.4k$$

$$d_c = 1 + 0.4k$$

$$d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi) k$$

$$d_r = 1 \quad \text{per qualsiasik}$$

$$k = \tan^{-1} \frac{L}{D} \quad \text{se } \frac{L}{D} > 1$$

19.2 Carga límite lateral

El método utilizado para el cálculo de la cap. de carga lateral es el método A, propuesto por Tomlinson (1971); la resistencia lateral es calculada con el siguiente método:

$$Q_l = (\alpha c + \sigma K \tan \delta) \cdot A_l \cdot f_w$$

donde:

A_l = superficie lateral del pilote;

f_w = factor de corrección al tronco-conicidad del pilote, es decir la disminución porcentual del diámetro del pilote con

c = valor medio de la cohesión (o de la resistencia a corte en condiciones sin drenaje);

σ = presión vertical eficaz del terreno;

K = coeficiente de empuje horizontal depende de la tecnología de ejecución del pilote y del estado anterior de adensamiento, va calculado de la siguiente manera:

δ = Rozamiento pilote-terreno función de la aspereza de la superficie del pilote.

α = coeficientes de adhesión obtenido de la siguiente manera

- **Para pilotes hincados**

$$k = 1 - \tan^2 \phi$$

o, en el caso específico, es posible asignar los siguientes valores:

Pilote	K	
	Terreno suelto	Terreno denso
Acero	0.5	1
Hormig prefab.	1	2
Madera	1	3

- **Para pilotes barrenados**

$$k = 1 - \text{sen}\phi$$

- **Para pilotes hincados**

$$\delta = \frac{3}{4} \tan \phi$$

- **Para pilotes barrenados**

• Pilotes barrenados:

- Caquot – Kerisel

$$\alpha = \frac{100 + c^2}{100 + 7c^2}$$

- Meyerhof – Murdock (1963)

$$\alpha = 1 - 0.1c \quad \text{per } c < 5 \text{ t/n}$$

$$\alpha = 0.525 - 0.005 \cdot c \quad \text{per } c \geq 5 \text{ t/r}$$

- Whitaker – Cooke (1966)

$$\alpha = 0.9 \quad \text{per } c < 2.5 \text{ t/m}^2$$

$$\alpha = 0.8 \quad \text{per } 2.5 \leq c < 5 \text{ t/m}^2$$

$$\alpha = 0.6 \quad \text{per } 5 \leq c \leq 7.5 \text{ t/m}^2$$

$$\alpha = 0.9 \quad \text{per } c > 7.5 \text{ t/m}^2$$

- Woodward (1961)

$$\alpha = 0.9 \quad \text{per } c < 4 \text{ t/m}^2$$

$$\alpha = 0.6 \quad \text{per } 4 \leq c < 8 \text{ t/m}^2$$

$$\alpha = 0.5 \quad \text{per } 8 \leq c \leq 12 \text{ t/m}^2$$

$$\alpha = 0.4 \quad \text{per } 12 \leq c \leq 20 \text{ t/m}^2$$

$$\alpha = 0.20 \quad \text{per } c > 20 \text{ t/m}^2$$

• Pilotes hincados

Coeficiente α para pilote hincado	
$2.5 \leq c < 5 \text{ t/m}^2$	$\alpha = 1.00$
$5 \leq c < 10$	$\alpha = 0.70$
$10 \leq c < 15$	$\alpha = 0.50$
$15 \leq c < 20$	$\alpha = 0.40$

$$c \geq 20$$

$$\alpha = 0.30$$

19.3 Cap. de carga fórmulas dinámicas

Las fórmulas dinámicas para determinar la cap. de carga de un pilote derivan de una fórmula fundamental fórmula racional para pilotes. Casi todas las fórmulas dinámicas para pilotes se basan en esta ecuación, generalmente simplificando algunos términos. La fórmula racional para pilotes tiene la siguiente expresión:

$$P_u = \frac{e_h \cdot W_r \cdot h \cdot W_r + n^2 \cdot W_p}{(s + C) \cdot (W_r + W_p)}$$

donde:

P_u = cap. de carga última;

e_h = eficiencia del martillo;

h = altura de caída de la masa de golpeo;

W_r = peso del martillo;

W_p = peso del pilote, cap y capblock;

s = largo de penetración de la punta correspondiente a un golpe;

$C = k_1 + k_2$, con k_1 deformación elástica cap; capblock; k_2 deformación elástica del pilote ($P_u L/AE$).

En la fórmula racional es necesario usar la unidad de medida coherente en modo que P_u resulte expresada en la misma unidad de W_r .

Las fórmulas utilizadas por el programa son aquellas derivadas por la fórmula racional en la cual aparece el valor nominal de energía del martillo E_h , basado sobre el producto de un peso equivalente W_r y de una altura de caída h :

$$E_h = W \cdot h = (W_r + \text{peso del separadon}) \cdot h$$

Con la introducción de la energía E_h tiene la siguiente fórmula:

Fórmula danesa [Olson y Flaate (1967)]

$$P_u = \frac{e_h E_h}{s + C_1}$$

$$C_1 = \sqrt{\frac{e_h E_h L}{2AE}}$$

Fórmula de Janbu [Olson y Flaate (1967), Mansur y Hunter (1970)]

$$P_u = \frac{e_h E_h}{k_u s}$$

$$k_u = C_d \left(1 + \sqrt{1 + \frac{\lambda}{C_d}} \right)$$

$$C_d = 0,75 + 0,15 \frac{W_p}{W_r}$$

$$\lambda = \frac{e_h E_h L}{AEs^2}$$

19.4 Craja límite horizontal

En el caso en el cual el pilote es sugetado a carga transversal, ocurre verificar que el pilote quede en condiciones de seguridad con respecto a tales condiciones.

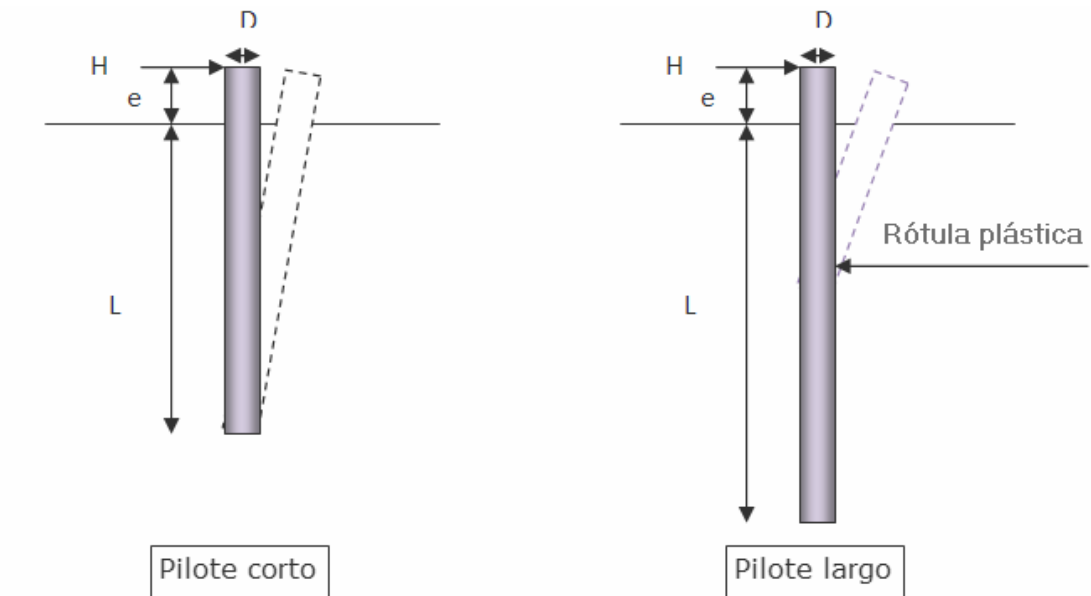
En las verificaciones a carga transversa es aplicada la teoría desarrollada por Broms para medios con cohesión y sin cohesión en los casos de pilote encastrado en cabeza po con posibilidad de rotación (libre).

De acuerdo con la norma general de los Eurocódigos para pilotes de cimentación, se asumió un comportamiento NO disipativo.

Dicho comportamiento «sustancialmente elástico» implica que el momento resistente último (capacidad) es el de «primera cedencia», tal y como se define en los propios Eurocódigos, es decir, como el momento indicado con M'_{yd} = momento resistente máximo de la sección en el campo sustancialmente elástico. Este momento M'_{yd} es, por tanto, el calculado por el programa como momento último (= momento de primera fluencia).

Pilote libre de rotación

En esta hipótesis entran dos posibles mecanismos de ruptura:



Ambos mecanismos de colapso corresponden respectivamente a un moto rígido de rotación entorno a su punto (pilote corto) o bien a un moto de rotación relativa junto a una rótula plástica.

Para pilote **rígido** (*pilote corto*), la ecuación de equilibrio en condición última de los momentos respecto al pie del pilote, da la siguiente expresión:

$$H_{ult} = \frac{DL^3 K_{p\delta}}{2(e+L)}$$

Si el pilote es **flexible** (*pilote largo*), el equilibrio devuelve:

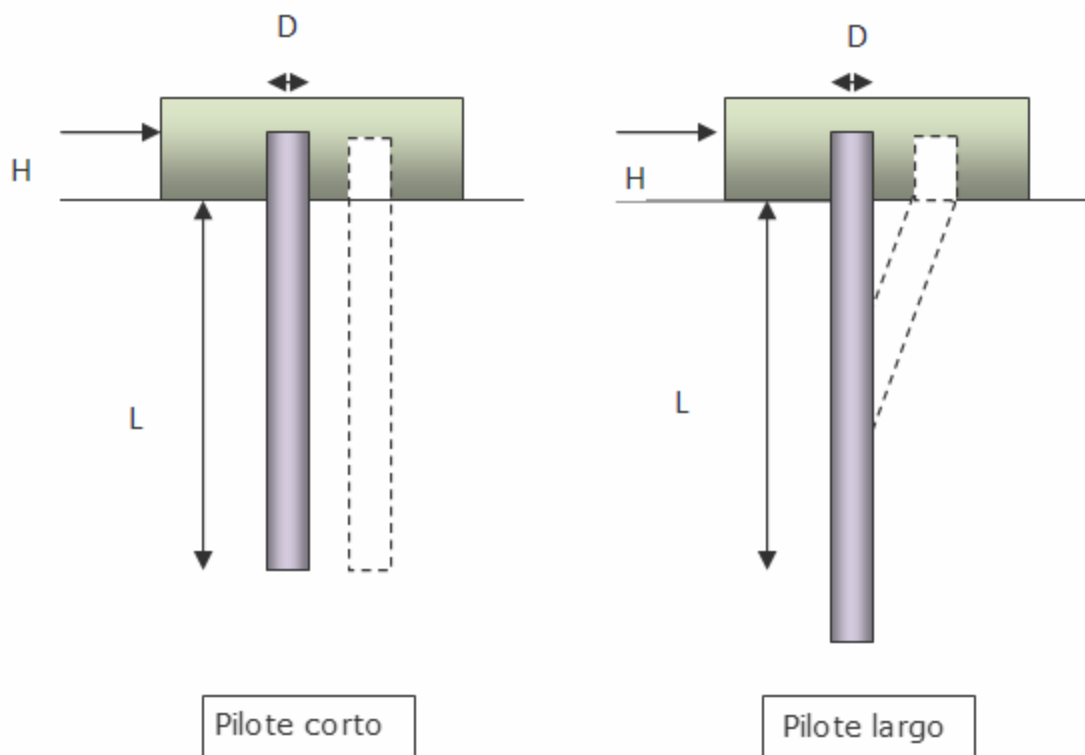
$$H_{ult} \left(e + \sqrt{\frac{2H_{ult}}{\gamma DK_{p\delta}}} \right) - \frac{1}{3} H_{ult} \sqrt{\frac{2H_{ult}}{\gamma DK_{p\delta}}} = M_{ult}$$

Siendo $M_{ult} = M_p$ el momento de plastificación del pilote.

El coeficiente K_{pd} es asumido igual a $3K_p$ (Rankine) con hipótesis de terreno **sin cohesión**.

Pilote inyectado

cuando el pilote es inyectado en cabeza los mecanismos posibles de ruptura son:



Para pilote **rígido** (*corto*), la expresión de la carga horizontal última resulta:

$$H_{ult} = \frac{1}{2} \gamma D L^2 K_{p\delta}$$

Si el pilote es **flexible** (*pilote largo*), el equilibrio devuelve:

$$H_{ult} \left(e + \sqrt{\frac{2H_{ult}}{\gamma D K_{p\delta}}} \right) - \frac{1}{3} H_{ult} \sqrt{\frac{2H_{ult}}{\gamma D K_{p\delta}}} = 2M_{ult}$$

Las expresiones de arriba son válidas en la hipótesis terreno sin cohesión.

Para terrenos exclusivamente **cohesivos**, Broms analiza siempre los mismos mecanismos de ruptura, pero evalúa la reacción del terreno en condiciones sin drenaje. Resultan por lo tanto las siguientes expresiones:

Pilote rígido de rotación libre

$$H_{ult} = \frac{9c_u D (L - z_T - 1,5D)^2 / 4}{e + 1,5D + z_T / 2}$$

con profundidad de la sección de corte nula.

$$z_T = H_{ult} / 9 \cdot c_u \cdot D$$

Pilote rígido inyectado

$$H_{ult} = 2M_{ult} / (L + 1,5D)$$

Pilote flexible de rotación libre

$$H_{ult} = M_{ult} / (1,5D + z_T / 2)$$

Pilote libre inyectado

$$H_{ult} = 2M_{ult} / (1,5D + z_T / 2)$$

19.5 Método de Bustamante y Doix

Las fórmulas de Bustamante y Doix solicitan parámetros característicos del terreno p_{lim} determinado por el ensayo presiométrico o con resultados de ensayos SPT (N_{spt}):

$$p_{lim} \cong p_a \cdot \frac{N_{SPT}}{2}$$

en los cuales p_a es la presión atmosférica de referencia (terrenos arenosos).

En el caso de terrenos arcillosos asume:

$$p_{lim} \cong 10 \times s_u$$

con su la cohesión sin drenaje.

El ensayo presiométrico permite instalar en el terreno, en la profundidad elegida, una sonda cilíndrica que puede dilatarse y sucesivamente expandirse gradualmente registrando los valores de las presiones aplicadas a las correspondientes deformaciones radiales. El presiómetro tipo **Ménard** (MPM) se puede expandir en un

foro existente que tenga un diámetro a aquel de la sonda. El campo de esta sonda es amplio (desde las arenas sueltas, a las arcillas hasta llegar a las rocas alteradas o blandas), pero tiene una gran limitación en la pre-perforación, por lo tanto han sido cambiadas por sondas autoperforantes (tipo SBP, PIP e FDPM).

Terrenos arenosos

En el caso de micropilotes en terrenos arenosos se pueden hipotetizar las siguientes situaciones entre el diámetro de perforación d_{perf} y el diámetro de la zona inyectada d_{in} :

$$d_{in} \cong 1.5 \cdot d_{perf} \quad (\text{inyecciones repetidas})$$

$$d_{in} \cong 1.15 \cdot d_{perf} \quad (\text{única inyección})$$

El valor límite de la tensión tangencial a lo largo del tramo inyectado puede ser asumida igual medianamente a:

$$f_s \cong \frac{1}{10} p_{lim}$$

La cantidad mínima de mezcla a inyectar es dada por la siguiente expresión:

$$1.5 \cdot V_{in} = 1.5 \cdot \frac{\pi \cdot d_{in}^2}{4} l_{in}$$

siendo l_{in} el largo del tramo inyectado.

Terrenos arcillosos

En el caso de micropilotes en terrenos arcillosos valen las siguientes relaciones entre el diámetro de perforación d_{perf} y el diámetro de la zona inyectada d_{in} :

$$d_{in} \cong 1.5 - 2 \cdot d_{perf} \quad (\text{inyección repetida})$$

$$d_{in} \cong 1.2 \cdot d_{perf} \quad (\text{inyección única})$$

La tensión tangencial a lo largo el tramo inyectado es asumida igual a:

(inyección única)

(inyección repetida)

En tal caso la cantidad mínima de mezclar para inyectar cambia de $1.5 - 2.0 V_{in}$, en el caso de una única inyección, a $2.5 - 3.0 V_{in}$, inyecciones repetidas.

Los valores de las presiones se entienden expresadas en N/mm^2 .

Carga límite

La carga límite es visualizada como suma de los tramos individuales de las tensiones tangenciales multiplicada por la superficie lateral medésimo tramo. Tal suma se extiende solo al tramo inyectado y en el cómputo no es considerado la contribución de la resistencia de punta.

19.6 Carga crítica micropilote (estabilidad lateral)

El micropilote es un elemento estructural oportuno para verificar la estabilidad del equilibrio elástico del elemento inmerso del terreno.

Como esquema de cálculo se asume un factor de seguridad, que el fusto sea rotulado en cabeza, en la cimentación, y el el bulbo y se supone además que el micropilote sea hincado en un medio elástico.

La carga critica se determina mediante la relación siguiente:

$$P_k = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{L^2} \times \left(m^2 + \frac{\beta \cdot L^4}{m^2 \cdot \pi^4 \cdot E \cdot J} \right)$$

habiendo indicado con

P_k = Carga crítica.

E = Módulo elasticidad del acero

J = Momento de inercia de la sección actuante.

L = Longitud entre las dos extremidades del micropilote supuesto vinculado.

β = Módulo de reacción del terreno por unidad de desplazamiento lateral.

m = Número (entero) de semi-ondas de inflexión del fusto.

D_p = Diámetro de perforación.

K = Módulo de Winkler.

Para valores bastante elevados de L la hipótesis de deformada única ($m=1$) lleva a valores de P_k excesivos y físicamente inverosímiles, el valor mínimo de P_k se obtiene por $m>1$.

Introduciendo la grandezza $l = L / m$ (semilargo de onda):

$$P_k = \pi^2 \cdot E \cdot J \cdot \left(\frac{1}{\lambda^2} + \frac{\beta \cdot \lambda^2}{\pi^4 \cdot E \cdot J} \right)$$

Para obtener el valor de P_k del anterior considerar l una variable continua respecto a la cual P_k puede ser derivado:

$$\frac{dP_k}{d\lambda} = \pi^2 \cdot E \cdot J \cdot \left(-\frac{2}{\lambda^3} + \frac{2 \cdot \beta \cdot \lambda}{\pi^4 \cdot E \cdot J} \right) = 0$$

$$\lambda = \pi \cdot \sqrt[4]{\frac{E \cdot J}{\beta}}$$

$$P_k = 2 \cdot \sqrt{\beta \cdot E \cdot J}$$

$$J = \frac{\pi}{64} \cdot (D_e^4 - D_i^4) + \frac{\pi}{64} \cdot \frac{1}{n} \cdot D_i^4 + \frac{\pi}{64} \cdot \frac{k_i}{n} \cdot (D_p^4 - D_e^4)$$

D_i = Diámetro interno del tubular.

D_e = Diámetro externo del tubular

D_p = Diámetro de perforación.

n = Módulo de homogeneización acero-hormigón.

K_i = Coeficiente comprendido entre 0 e 1 indicativo del grado de participación acero - hormigón.

19.7 Rozamiento negativo

Cuando un pilote es inyectado pasa por una capa de material comprimido antes de que se haya agotado el proceso de consolidación, el suelo se moverá con respecto al pilote haciendo surgir un rozamiento entre el pilote y el terreno que conducen al **fenómeno de rozamiento negativo**. El efecto del rozamiento negativo aumenta la

carga axial sobre el pilote, lo que resulta en el aumento de la subsidencia debido a la reducción de la flexibilidad en la misma pila, como resultado del aumento del asiento, causada por la reducción elástica del pilote mismo por efecto del aumento de carga. La fuerza que nace por el rozamiento negativo, se estima igual mal componente de rozamiento de la RESISTENCIA lateral (Ver Resistencia del fusto) a lo largo de la superficie lateral en contacto con la capa en la que genera este fenómeno, pero lo contrario de rozamiento negativo. La resultante, así determinada no será deducida de la carga límite, pero si por ejercicio.

19.8 Corrección sísmica y interacción cinemática

Criterio de Vesic

Según este autor para tener cuenta del fenómeno de la dilatación en el cálculo de la capacidad de carga suficiente disminuir de 2° el ángulo de rozamiento de los estratos de cimentación. El límite de esta sugerencia es que no tiene cuenta de la intensidad de la sollicitación sísmica (expresada a través de parámetro de aceleración sísmica horizontal máxima).

Criterio de Sano

El autor propone disminuir el rozamiento negativo de los estratos llevados por una cantidad dada en relación:

$$D_p = \arctg\left(\frac{A_{\max}}{\sqrt{2}}\right)$$

donde A_{\max} es la aceleración sísmica horizontal máxima.

Este criterio respecto al de **Vesic**, tiene la ventaja de tomar en consideración también la intensidad de la sollicitación sísmica. La experiencia demuestra que la aplicación crítica puede conducir a valores excesivamente cautelosos Q_{\lim} .

Las correcciones de **Sano** y de **Vesic** se aplican exclusivamente para terrenos sin cohesión bien densos. Es errado aplicar a terrenos sueltos o medianamente densos, donde las vibraciones sísmicas producen el fenómeno opuesto a aquellos de la dilatación, con aumento del grado de adensamiento y ángulo de rozamiento.

Momentos cinemáticos

En presencia de la acción sísmica la respuesta del pilote es el resultado de una compleja interacción terreno pilote de difícil interpretación a causa de los fenómenos no lineales en el terreno y de los **efectos cinemáticos** asociados al moto del terreno.

Generalmente, a las solicitaciones transmitidas por la sobre estructura se agregan aplicando el principio de sobre-posición de los efectos derivados de la interacción cinemática que produce en los pilotes solicitaciones adicionales que dependen principalmente de la rigidez relativa pilote-terreno.

Con respecto a este tipo de estudio, surge que en el caso de pilote inmerso en terrenos estratificados, la solicitación flectente recibe un aumento en proximidad de la interfaz entre estratos de distintas rigidezes y tal aumento es mayor cuanto más elevado sea el contraste de rigidez. En algunos casos el valor del momento producido por este efecto podría superar aquel del que surge en pilotes en cabeza en presencia de encastre.

Después de numerosos resultados, **Nikolaou y otros, 2001**, han propuesto una relación que permite calcular en manera aproximada el momento flectente máximo en correspondencia al interfaz entre dos estratos de distinta rigidez, en condiciones de moto estacionaria con frecuencia próxima a la frecuencia fundamental del depósito en el cual está inmerso el pilote:

$$M = 0,042 \cdot \tau_c \cdot d^3 \cdot \left(\frac{L}{d}\right)^{0,30} \left(\frac{E_p}{E_1}\right)^{0,65} \left(\frac{V_{s2}}{V_{s1}}\right)^{0,50}$$

en el cual $\tau_c = a_{\max,s} \rho_1 h_1$; V_{s1} e V_{s2} , respectivamente la velocidad de las ondas de corte en los dos estratos; E_1 es el módulo de rigidez del estrato superior del terreno.

Los momentos evaluados según la expresión de **Nikolaou** son indicados en **Interacción cinemática** presentes en **Cálculo Estructural**.

19.9 Asiento elástico

Vertical deformación elástica se calcula por el método de Davis-Poulos, en el cual el pilote se considera rígido (*deformable*) inmerso en un medio elástico, semiespacio-o capa de espesor finito.

Se supone que la interacción pilote- terreno es constante, a tratos a lo largo de n superficies cilíndricas en el cual va su-dividida la superficie lateral del pilote. El asiento de la superficies por efecto de la carga transmitida por el pilote al terreno a lo largo de la superficie j-la estima puede ser expresada en:

habiendo indicado con:

τ_j = aumento de la tensión relativa al punto medio de la tira.

E = Módulo elástico del terreno.

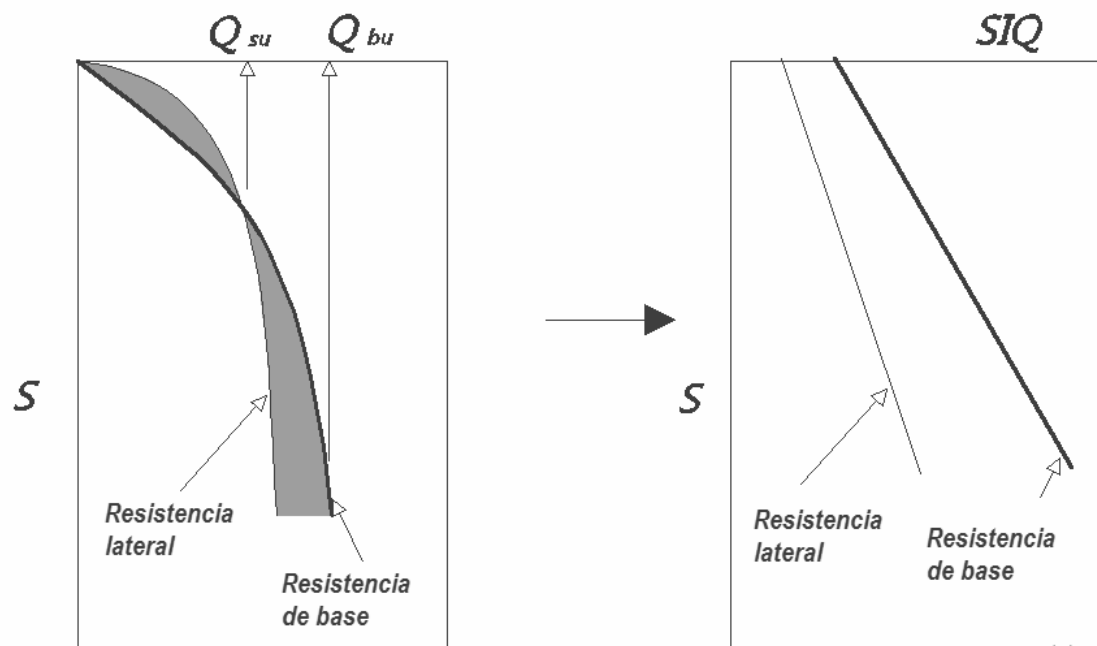
B = Diámetro pilote.

$I_{i,j}$ = Coeficiente de influencia.

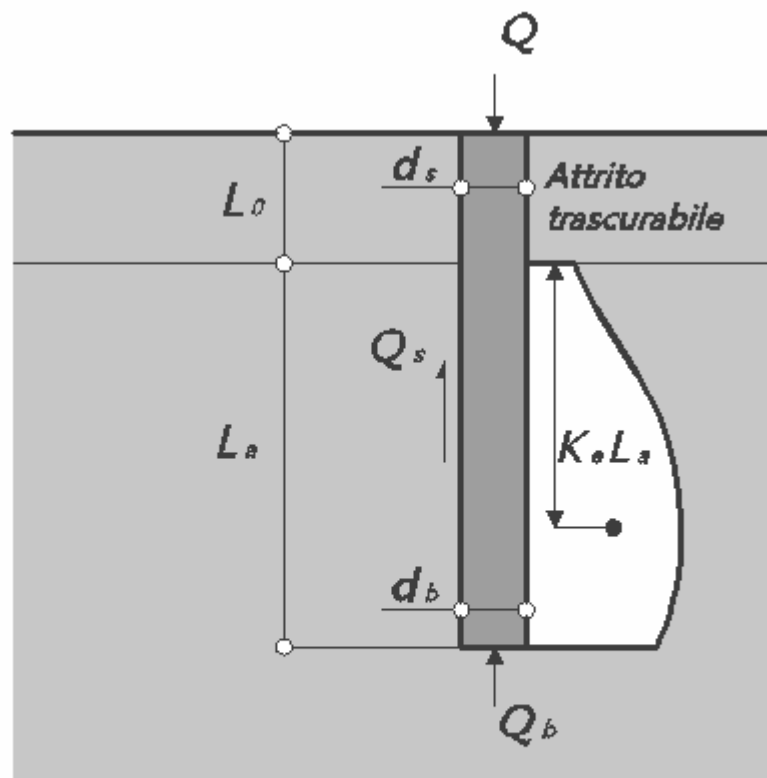
El asiento complessivo se obtiene sumando $W_{i,j}$ para todas las j áreas.

19.10 Aiento método hiperbólico

El método hiperbólico modificado representa un desarrollo del estudio de **Chin** (1970, 1972, 1983) que permite estimar el asiento de pilotes individuales a partir de la idea que el diagrama carga-asiento, por el cuerpo de un pilote y su base tenga un andar hiperbólico. Los valores de la carga última lateral (Q_{su}) y la resistencia de base última (Q_{bu}) representan los términos asintóticos de la curva (figura a) (Terzaghi, 1943). Es posible agregar una representación del problema considerando la variación de la S/Q respecto al desplazamiento S (figura b).



El estudio de Fleming ha demostrado que los desplazamientos totales estimados con el método de Chin eran disturbados por la reducción elástica del cuerpo del pilote por el cual sugirió un atécnica aplicada de la deformación elástica del pilote puede ser determinada sustrayendo la estima de Chin la reducción del pilote antes de diagramar la curva hiperbólica.



Considerando el esquema en figura la reducción elástica del pilote y de la carga aplicada Q en relación al rozamiento lateral último Q_{su} . En particular si $Q \leq Q_{su}$ la deformación elástica del cuerpo del pilote corresponde a la suma de la reducción elástica a lo largo de la zona de rozamiento nulo y aquel que se desarrolla en la parte activa del fuste:

$$S_e = \frac{4 Q \cdot (L_0 + K_e \cdot L_a)}{\pi d_s^2 \cdot E_c}$$

si en cambio se tiene $Q > Q_{su}$ se tiene que considerar otra reducción a la parte activa del pilote que será agregada a la deformación elástica

$$S_e = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{1}{d_s^2 \cdot E_c} \cdot [Q \cdot (L_0 + L_a) - L_a \cdot Q_{su} \cdot (1 - K_e)]$$

Los parámetros de la fórmula son:

- d_s = diámetro cabeza del pilote.
- E_c = módulo de elasticidad del material del pilote en el cual el valor puede ser obtenido por una interpretación lineal entre valores de $E_c = 26(10^6)$ KN/m² para hormigón con fuerza específica de 20 N/mm² y el valor de $E_c = 40(10^6)$ KN/m² hormigón de 40 N/mm².

- L_0 = largo del pilote con rozamiento bajo o nulo.
- L_a = largo activo del pilote
- K_e = relación del largo equivalente al fusto del pilote con respecto al largo activo L_a . Se puede considerar un valor de 0.5 cuando se tiene un rozamiento que se desarrolla uniformemente a lo largo L_a o bien cuando el pilote va introducido en arena o grava. Para pilotes en creta caracterizados por un esfuerzo que crece en profundidad se puede utilizar un valor de 0.45.

El desplazamiento del pilote rígido puede ser calculado sabiendo que la suma del rozamiento lateral y de la resistencia de base corresponden al total aplicado a la cabeza del pilote.

$$Q = Q_s + Q_b$$

Considerando el pilote rígido el desplazamiento total en cabeza es igual a aquel que se obtiene a lo largo del fusto es igual a aquel medido en la base del pilote:

$$S_t = S_s = S_b$$

Del gráfico lineal se puede ver que el desplazamiento a lo largo del fusto del pilote puede ser calculado así:

$$S_s = \frac{M_s \cdot d_s \cdot Q_s}{Q_{su} - Q_s}$$

En el cual

- M_s = factor sin unidad de medida de flexibilidad terreno/fusto.
- d_{s0} = diámetro cabeza
- Q_s = Rozamiento
- Q_{su} = Rozamiento último determinado con el método estático (condición con drenaje)

La ecuación del desplazamiento a la base del pilote obtiene de Fleming:

$$S_b = \frac{0.6 \cdot Q_{bu} \cdot Q_b}{d_b \cdot E_b \cdot (Q_{bu} - Q_b)}$$

donde

- d_b = diámetro de la base del pilote.
- Q_b = resistencia a la base.
- Q_{bu} = resistencia última a la base.
- E_b = módulo de corte correspondiente a $Q_{bu}/4$

En fin poniendo la condición de igualdad $S_s = S_b$ y considerando la carga total aplicada Q se obtiene el desplazamiento total de un pilote rígido considerando solo los valores positivos de la relación:

$$S_b = \frac{-g \pm \sqrt{g^2 - 4fh}}{2 \cdot f}$$

En el cual las variables se definen así:

$$f = \eta \cdot (Q - \alpha) - \beta$$

$$g = Q \cdot (\delta + \lambda \eta) - \alpha \delta - \beta \lambda$$

$$h = \lambda \cdot \delta \cdot Q$$

$$\alpha = Q_{su}$$

$$\beta = d_b \cdot E_b \cdot Q_{bu}$$

$$\lambda = M_s \cdot d_s$$

$$\delta = 0.6 \cdot Q_{bu}$$

$$\eta = d_b \cdot E_b$$

El desplazamiento del pilote comprende el componente de desplazamiento rígido y aquella de reducción elástica.

El módulo elástico del terreno E_b por debajo de la base del pilote es vinculada a las características del terreno y es fuertemente influenciado por la técnica de construcción pilote. Fleming sostiene que es aconsejable que este parámetro de proyecto sea determinado por un conjunto de ensayo en los cuales los pilotes son cargados hasta el punto en el cual es movilizada una importante cota de la resistencia de punta. En ausencia de estos datos se puede elegir, con cautela el valor E_b del range de valores relativos al tipo de terreno y a la técnica de construcción del pilote.

• Pilotes barrenados en arcilla

Consistencia arcilla	E_b [kN/m ²]
Muy suave	< 3000
Suave	3000 – 6000
Compacta	6000 – 15000
Consistente	15000 – 25000
Muy consistente	25000 – 40000

Dura	> 40000
------	---------

• **Pilotes barrenados en arena o grava**

Tipo terreno	E_b [kN/m ²]
Batante suelto	< 15000
Suelto	15000 – 30000
Mediamente sciolto	30000 – 100000
Compacto	100000 – 200000
Bastante compacto	> 200000

• **Pilotes barrenados en margas y esquistos**

Tipo terreno	E_b [kN/m ²]
íntegro	150000 – 200000
Relativamente alterado	80000 – 150000
Alterado	50000 – 80000
Muy Alterado	10000 – 50000

• **Pilotes barrenados en yeso**

Tipo de yeso	E_b [kN/m ²]
Fisurado	< 100000
Con fisuras > 3 mm	100000 – 200000
Con fisuras < 3 mm	150000 – 250000
Discontinuidad cerrada	> 250000

Si el pilote es de base alargada los valores de la tabla tiene que ser multiplicados por un factor 1.5. Los factores de flexibilidad asta/terreno M_s es un valor sin unidad de medida comprendido entre 0.001 e 0.0015. Su valor no parece ser influenciado por el tipo de pilote ni del tipo de terreno.

19.11 Micropilotes/Pilotes en condiciones de ejercicio

En condiciones de ejercicio, para el pilote y micropilote, es aplicado el método de Método de los elementos finitos.

El método de los elementos finitos modela el micropilote/pilote de cimentación bajo cargas transversales en modo realístico en cuanto hace uso ya sea de desplazamiento que de las rotaciones a los nudos para definir la línea elástica del micropilote, por lo tanto representadas por el método más racional y eficaz actualmente disponible para analizar este tipo de estructuras.

A continuación las notas teóricas con P la matriz de las fuerzas de los nudos externo, con F aquella de las fueras internas y con A la matriz de los coeficientes de influencia que para el equilibrio entre fuerzas externas e internas, une las primeras dos:

$$P = AF$$

Los desplazamientos internos y (traslaciones y rotaciones) del elemento en el nudo genérico son unidos a los desplazamientos externos X (traslaciones y rotaciones) aplicados a los nudos, para la siguiente relación:

$$e = BX$$

donde la matriz B ha demostrado ser el transpuesto de la matriz A.

Por otra parte las fuerzas internas F son unidas a los desplazamientos internos:

$$F = Se$$

de esta forma se obtiene:

$$F = SA^T X$$

y por lo tanto:

$$P = AF = A SA^T X$$

Es decir que calculando al contrario de la matriz A SA^T se obtiene la expresión de los desplazamientos externos X:

$$X = (A SA^T)^{-1} P$$

Los desplazamientos X es posible obtener las fuerzas internas F necesarias para el proyecto de la estructura .

La matriz A SA^T en de notoriedad como matriz dwe rigidez global caracterizada por la unión entre desplazamientos y fuerzas externas de nudos.

el método a elementos finitos tiene entre otras cosas, la ventaja de consentir de tomar en cuenta como condiciones al contorno rotaciones y desplazamientos notorios.

Las reacciones de los nudos de los resortes que esquematizan el terreno son consideradas como fuerzas globales unidas al módulo de reacción y el área de influencia del nudo. En la solución a elementos finitos para micropilotes/pilotes sugetados a cargas transversales el módulo de reacción es considerado en la forma:

$$k_s = A_s + B_s Z^n$$

si no se quiere hacer crecer el k_s con la profundidad, en la forma:

$$k_s = A_s + B_s \tan^{-1}(Z/B)$$

en la cual Z es la profundidad y B es el diámetro del pilote/micropilote.

Los valores de A_s e $B_s Z^n$ son obtenidos por la expresión de la capacidad de carga (Bowles) con factores correctivos s_p , d_p , e i igual a 1:

$$k_s = q_{ult}/DH = C(cN_c + 0.5\gamma BN_g)$$

$$B_s Z^n = C(\gamma N_q Z^1)$$

donde $C = 40$ es obtenido en correspondencia de un asiento máximo de 25 mm.

20 Normativa

20.1 Normativa de referencia

Para las fases se puede tomar como referencia las siguientes normas:

Eurocódigo 7: Proyección geotécnica – Parte 1: Reglas generales.

Eurocódigo 8: Indicaciones de proyecto para la resistencia sísmica de las estructuras- Parte 5: Cimentaciones, estructuras de contención y 7 aspectos geotécnicos.

21 Comando de Short cut

La barra indicada en figura 2 puede ser utilizada para distintas funciones:

1) Con las letras de short cut de los distintos menús, confirmando con ENTER se accede rápidamente a los distintos comandos.

Ej.: **N+ENTER** para crear un nuevo archivo.

- 2) Se puede hacer una pregunta al programa agregando el signo interrogación ? + **ENTER**. En tal caso serán realizadas las búsquedas en el menú Ayuda.
Ej.: **Sismo+?+ENTER** para tener informaciones sobre el análisis sísmico.
- 3) Activación de un programa en forma rápida.
Ej.: **Slope+ENTER** para abrir otro software Geostru.
- 4) Acceso rápido a los contactos GeoStru.
Ej.: **Contactos +?+ ENTER** para acceder a la lista de contactos GeoStru.
- 5) Acceso rápido a las funciones del web:
Ej.: www.geostru.eu+ ENTER, o bien info@geostru.eu. **geostru ps + ENTER** para acceder rápidamente a los parámetros sísmico.

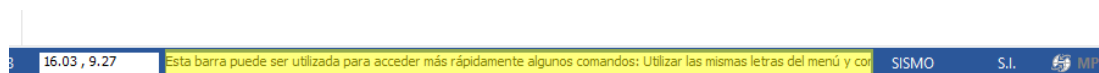


Fig. 2

22 Geoapp

Geoapp: la suite más grande de la web para cálculos en línea

Las aplicaciones que componen [Geostru Geoapp](#) han sido diseñadas para brindar soporte profesional en la solución de múltiples casos técnicos. Geoapp comprende más de 40 [aplicaciones](#) para: Ingeniería, Geología, Geofísica, Hidrología e Hidráulica.

La mayoría de las aplicaciones son gratuitas, mientras algunas requieren suscripción mensual o anual.

Suscribirse en Geoapp significa:

- usar aplicaciones profesionales en cualquier momento, lugar y dispositivo;
- guardar los archivos en la nube y en el propio PC;
- abrir los archivos para elaboraciones sucesivas;
- servicios de impresión de los informes y las elaboraciones gráficas;
- información sobre nuevas aplicaciones e inclusiones automáticas en la propia cuenta de usuario;
- disponibilidad de versiones siempre actualizadas;
- servicios de asistencia técnica por medio de Tickets.

22.1 Seccion Geoapp

General e Ingeniería, Geotecnia y Geología

Entre las aplicaciones presentes, se puede utilizar una amplia gama para **MP**. Para este propósito, se recomiendan las siguientes aplicaciones:

- [Newmark](#)
- [Clasificación de tierras](#)
- [Coeficiente de reacción horizontal](#)
- [Prueba GILG-GAVARD](#)
- [Prueba HAEFELI](#)

23 Bibliografía

- Arias A.**, 1970. A measure of earthquake intensity in Seismic Design of Nuclear Power Plants, R. J. Hansen, Editor, The Mass. Inst. Tech. Press.
- Bishop A. W.**, 1955. The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Siopes. *Geotechnique*, Vol. 5:7-17.
- Coulomb, C.A.** 1776. Essai sur une application des regles de maximis et minimis a quelques problemes de statique, relatifs a l'architecture. *Memoires de Mathematique et de Physique présentés a l'Academic Royale des Sciences, Paris, 1773, 1, 343-382.*
- Matlock H. e Reese L.C.**, 1960. Generalised solutions for laterally loaded piles. *Journ. Soil Mech. Found. Div., ASCE, Vol. LXXXVI, SM5, pp. 63-91*
- Newmark N.M.**, 1965. Effects of Earthquakes on Dams and Embankments. *Geotechnique*, 15, 139-160.
- Poulos H. G. and Davis E. H.**, 1980. Pile foundation analysis and design. Wiley Ed. 397 p.
- Poulos H. G. and Davis E. H.**, 1991. Elastic Solutions for Soil and Rock Mechanics. Centre for geotechnical research, University of Sidney.
- Richards R. and Elms D.G.**, 1979. Seismic Behavior of Gravity Retaining Walls. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, 105, 449-464.
- Vesic A.S.**, 1970. "Tests on Instrumented Piles, Ogeehee River Site," *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 96, No. SM2, pp. 561-584.*

24 Contacto

GeoStru

Web: www.geostru.eu

E-mail: info@geostru.eu

Telephone: +506 83094208 (horario de nuestra sede en Costa Rica) de las 9 AM a las 4 PM

Per recapiti aggiuntivi consultare il nostro sito [WEB](#)