



RECALCES CON ELEMENTOS NUEVOS.

JUAN PÉREZ VALCÁRCEL

Catedrático de Estructuras

E.T.S.A. de La Coruña

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel

EL RECALCE EN LA EDIFICACIÓN

- **Conceptos generales.**
- **Recalces superficiales.**
- **Recalces profundos.**
- **Recalces atípicos.**

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



RECALCES

Ⓐumentar las dimensiones del cimiento.

Ⓐumentar la profundidad de su plano de apoyo para transmitir las cargas a un estrato más resistente.

Ⓐctuación sobre el terreno para mejorar su capacidad portante.

Problema principal ♂ Holgura entre recalce y estructura.

Ⓓetracción del hormigón.

Ⓓescenso del terreno.

Sistemas de compensación:

Ⓒuñas metálicas.

Ⓒ mortero expansivo o sistemas similares.

Ⓒ utilización de gatos.



TIPOLOGÍAS DE RECALCES.

Recalces superficiales.

- C Ensanche de zapatas en su plano.
- C Ensanche de zapatas puenteadas.
- C Creación de losas.
- C Profundización del plano de apoyo.
- C Refuerzo de zapatas por inyección.
- C Refuerzo de zapatas por confinamiento.
- C Construcción de zapatas nuevas.

Recalces profundos.

- C Pilotes atravesando las cimentaciones existentes.
- C Pilotes adosados a la cimentación.
- C Pilotes puestos en carga de forma controlada.
- C Recalces de pilotajes.
 - C Inyecciones.
 - C Confinamiento.
 - C Entrecruzado de micropilotes.

Recalces profundos.

- C **Pozos profundos: Profundidades superiores a unos 4 m. En el momento actual se utilizan muy poco por dificultades constructivas y de seguridad.**
- C **Pilotes: Problemas de acceso de maquinaria.**
- C **Micropilotes: Es el sistema más usado.**

TÉCNICA	PRINCIPALES PROBLEMAS
POZOS PROFUNDOS	Construcción difícil. Problemas con suelos blandos. Problemas con el agua.
PILOTES	Problemas de acceso de maquinaria al edificio. Afectan seriamente a los cimientos existentes. Grandes encepados.
MICROPILOTES	Problemas de unión con la cimentación existente. Problemas de transferencia y reparto de cargas. Control cuidadoso de la ejecución.

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel

PILOTES EMPLEADOS EN RECALCES

Tipología de pilotes

Por tipo estructural:

C **Pilotes aislados.- No interaccionan con los demás**

C **Grupos de pilotes.- Interaccionan con los demás.**

C **Zonas pilotadas.**

C **Micropilotes.**

Por forma de trabajo:

C **Pilotes por punta.**

C **Pilotes por fuste.**

Por forma de sección:

C **Circular (más frecuente).**

C **Cuadrada.**

C **Hexagonal.**

C **Octogonal.**

C **Pilotes-pantalla**

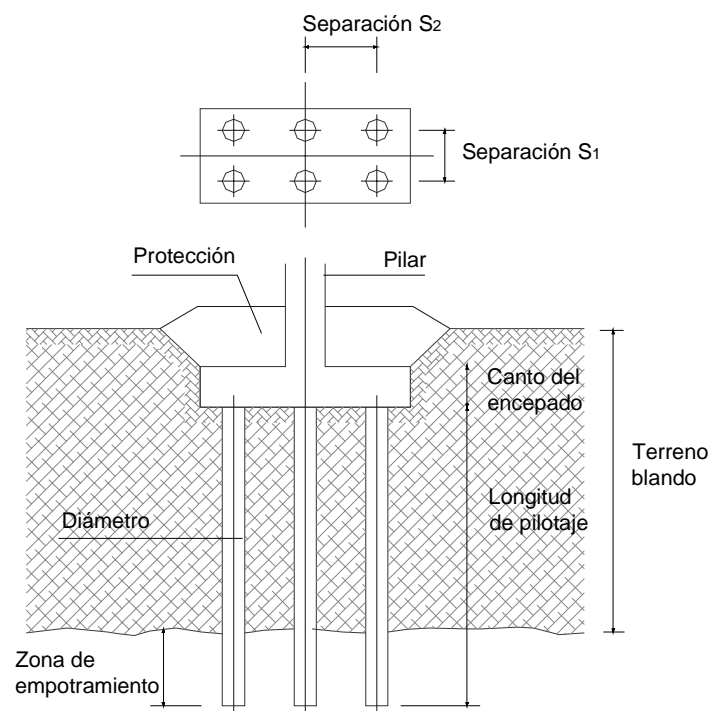
} **Se asimilan a circulares**

Punta $D_{eq} = \sqrt{\frac{4}{\pi} A}$

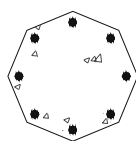
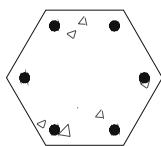
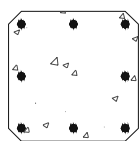
Fuste $D_{eq} = \frac{1}{\pi} L$

Factor de reducción de resistencia de punta $f = 0,7 + 0,3 \frac{B}{L}$

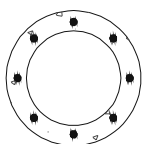
E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel

**PILOTES EMPLEADOS EN RECALCES****Tipología de pilotes por el material del mismo.****Pilotes prefabricados:**☐ De hormigón.☐ Metálicos.☐ Tubulares.**Pilotes “in situ”**☐ De hinca con entubación recuperable.☐ Perforados con entubación recuperable o no.☐ Perforados con bentonita.☐ Barrenados inyectando mortero a presión.**Esquema de un posible pilotaje**

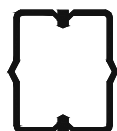
TIPOLOGÍA DE PILOTES.- PILOTES PREFABRICADOS.



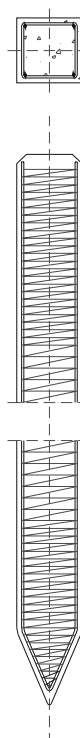
De hormigón
armado



De hormigón
pretensado
(Raymond)

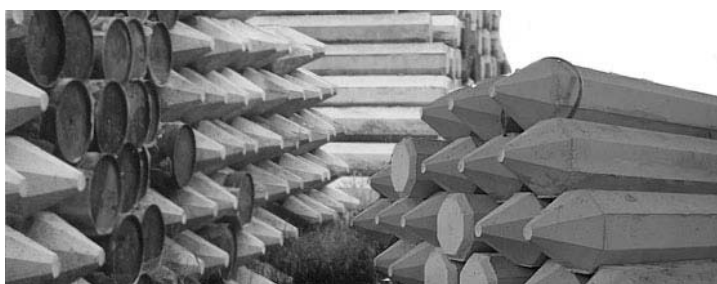


De acero



E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel

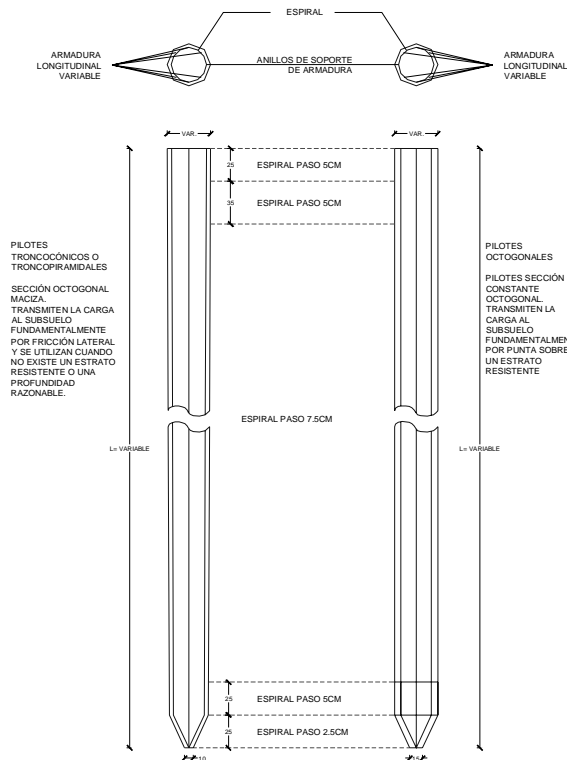
TIPOLOGÍA DE PILOTES.- PILOTES PREFABRICADOS.



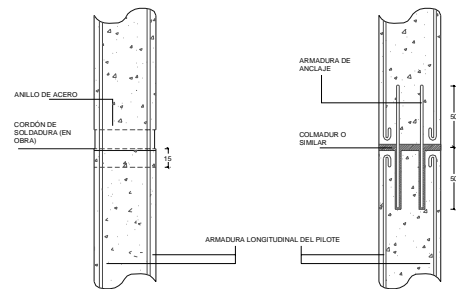
E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



TIPOLOGÍA DE PILOTES.- PILOTES PREFABRICADOS.



PILOTES DE CONCRETO ARMADO PREFABRICADOS



CON SOLDADURA

CON VACIADO DE JUNTA CON MORTERO EPOXICO

DETALLES DE EMPATES DE PILOTES

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



TIPOLOGÍA DE PILOTES.- PILOTES PREFABRICADOS.



E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



TIPOLOGÍA DE PILOTES.- PILOTES IN SITU.

Recomendaciones. Art 5.1.2.2.5

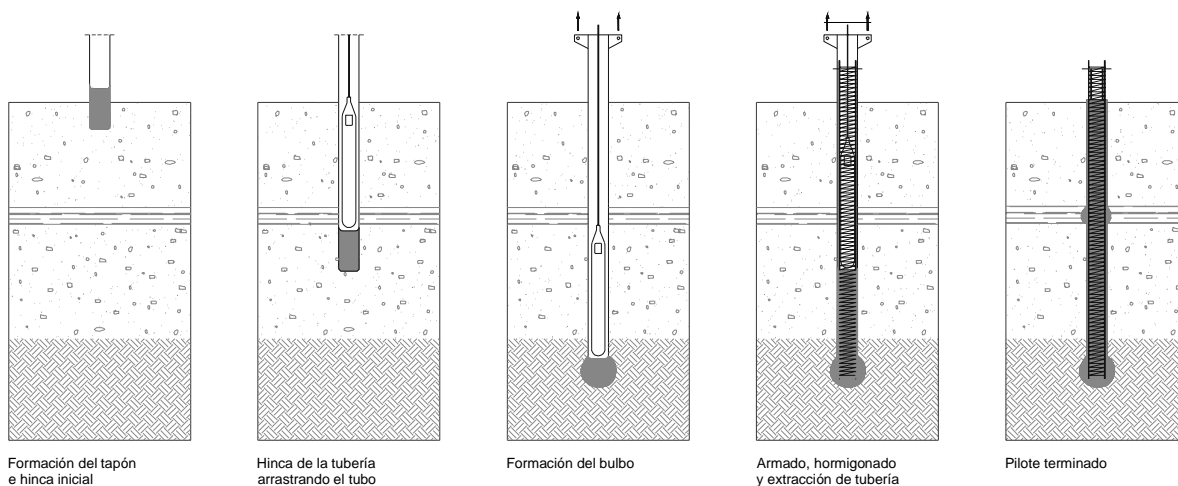
Diámetro < 0,45 m: no se deben ejecutar pilotes aislados, salvo en elementos de poca responsabilidad en los que un posible fallo del elemento de cimentación no tenga una repercusión significativa.

0,45 m < Diámetro < 1,00 m; se podrán realizar pilotes aislados siempre que se realice un arriostramiento en dos direcciones ortogonales y se asegure la integridad del pilote en toda su longitud de acuerdo con los métodos de control recogidos en el apartado 5.4

Diámetro > 1,00 m; se podrán realizar pilotes aislados sin necesidad de arriostramiento siempre y cuando se asegure la integridad del pilote en toda su longitud de acuerdo con los métodos de control recogidos en el apartado 5.4 y se arme para las excentricidades permitidas y momentos resultantes.

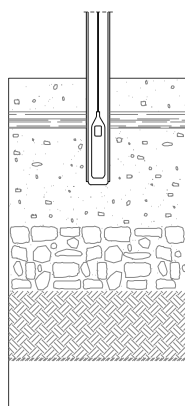


TIPOLOGÍA DE PILOTES.- PILOTES DE HINCA.

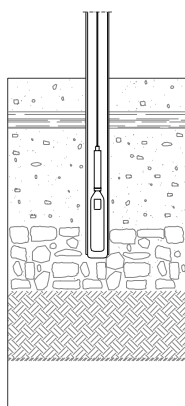




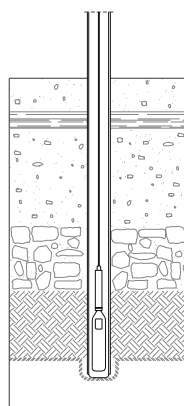
TIPOLOGÍA DE PILOTES.- PILOTES PERFORADOS.



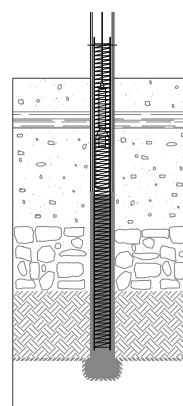
Avance de la tubería con la cuchara



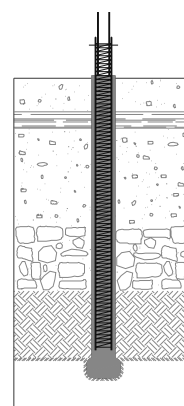
Avance de la tubería con el trépano



Empotramiento del pilote en la base



Armado, hormigonado y extracción de la tubería

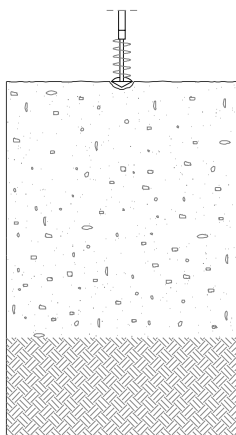


Pilote terminado

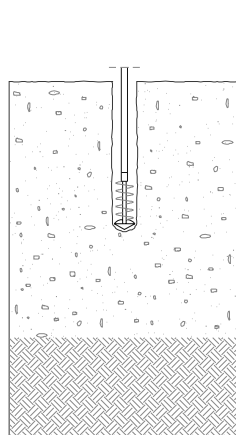
E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



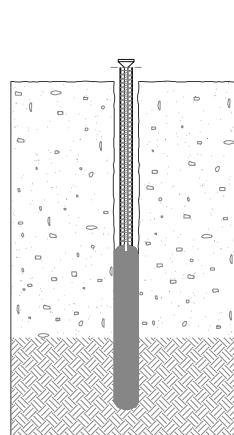
TIPOLOGÍA DE PILOTES.- PILOTES PERFORADOS CON HÉLICE.



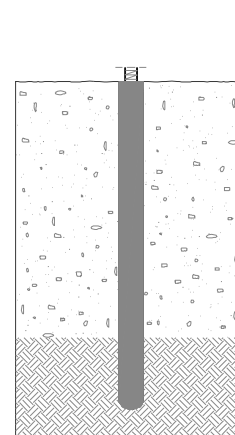
Emboquillamiento de la perforación



Avance de la perforación



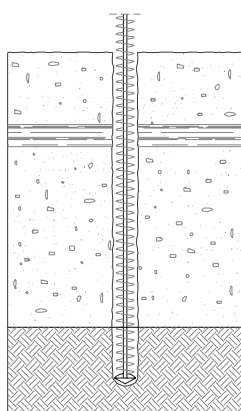
Hormigonado del pilote



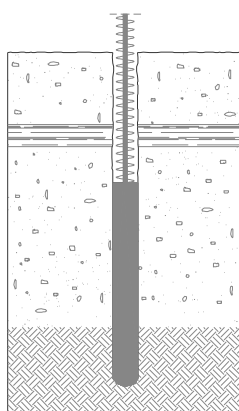
Pilote terminado

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel

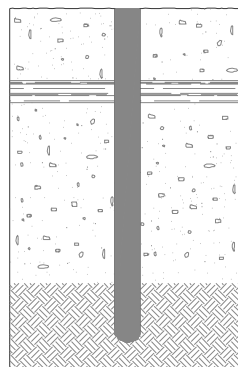
TIPOLOGÍA DE PILOTES.- PILOTES DE BARRENA.



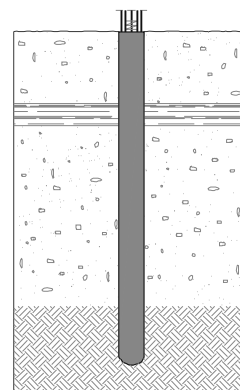
Perforación del pilote



Hormigonado y a la vez extracción del terreno



Pilote hormigonado



Colocación de armaduras en el hormigón fresco

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel

TIPOLOGÍA DE PILOTES

⊖ Pilotes hincados.

- CPP-1 Pilote prefabricado (profundidad $> 8 \cdot D_{eq}$)
- CPP-2 Grupo de pilotes prefabricados.

⊖ Pilotes trabajando por fuste.

- CPI -2 Grupo de pilotes de desplazamiento con azuche.
- CPI -3 Grupo de pilotes de desplazamiento con tapón de gravas.
- CPI -4 Grupo de pilotes de extracción con entubación recuperable.
- CPI -5 Grupo de pilotes de extracción con camisa perdida.
- CPI -6 Grupo de pilotes perforados sin entubación con bentonita.
- CPI -7 Grupo de pilotes barrenados sin entubación.
- CPI -8 Grupo de pilotes barrenados, hormigonados por el tubo central de la barrena.

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



TIPOLOGÍA DE PILOTES

Limitaciones de los pilotes entubados

Ø Al retirar la camisa debe dejarse una zona de resguardo de 3 m.

Limitaciones de los pilotes de barrena

Ø No pueden armarse a partir de 6 m.

Ø No deben colocarse aislados.

Ø La inclinación del pilote sea mayor de 6°.

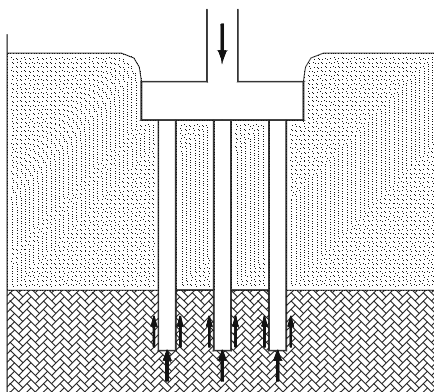
Ø Existan capas de terreno inestable de espesor superior a 3D.



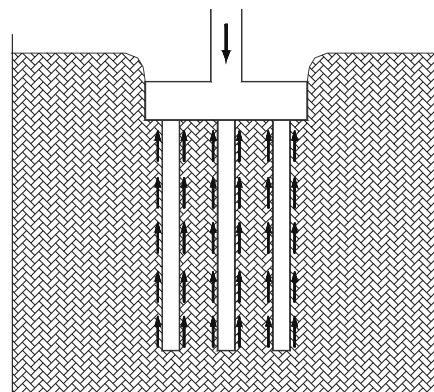
FORMA DE TRABAJO DEL PILOTAJE

Ø Pilotes trabajando por punta.

Ø Pilotes trabajando por fuste.



Pilotes por punta



Pilotes por fuste



CÁLCULO DEL PILOTAJE

⊘ Determinación de la carga de hundimiento del pilote aislado.

⊘ Estimación de los asentamientos para la carga de trabajo.

⊘ Carga admisible en los grupos de pilotes.

⊘ Cálculo del pilote.

⊘ Cálculo de encepados, riostras, etc.

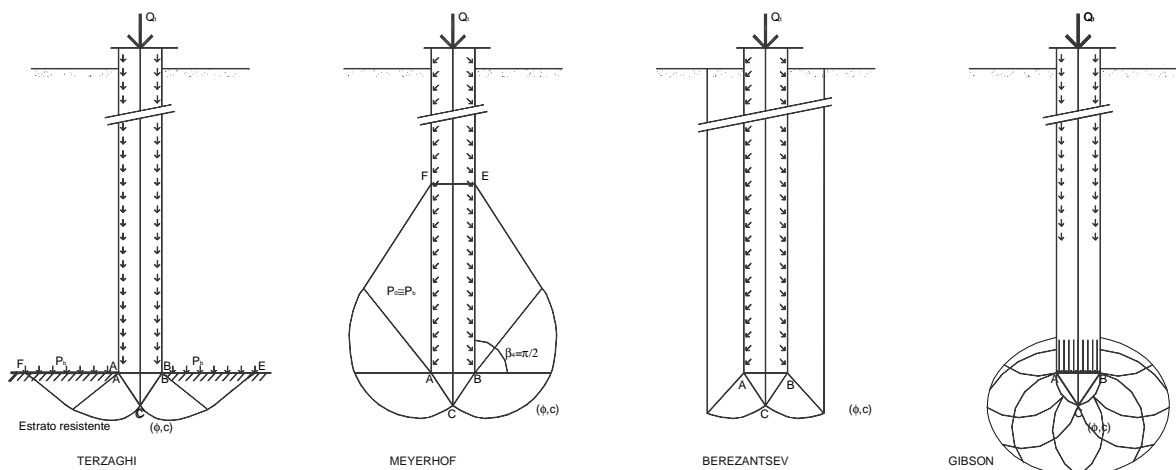


CARGAS DE HUNDIMIENTO DEL PILOTE AISLADO

Q_h = Resistencia de punta + Resistencia de fuste

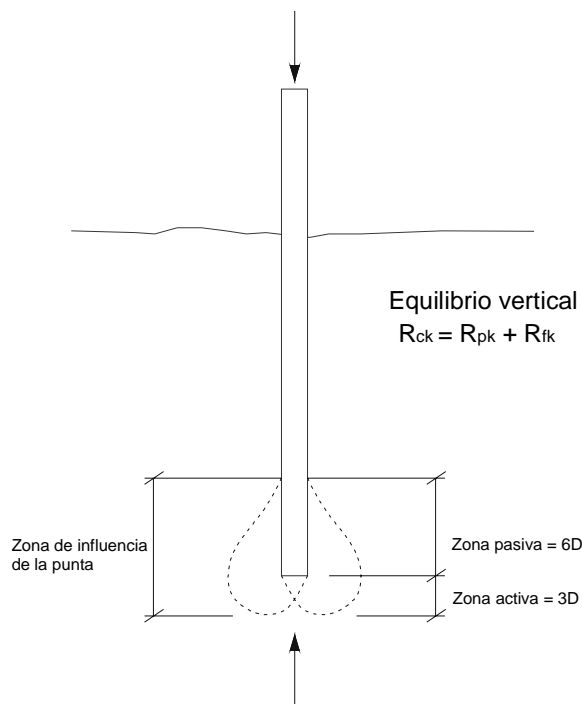
$$Q_h = A_p \cdot r_p + A_f \cdot r_f$$

La estimación de esos valores se hace por métodos empíricos, según los modelos de cálculo propuestos por diversos autores





CARGAS DE HUNDIMIENTO DEL PILOTE AISLADO. Art 5.3.4



$$R_{cd} = \frac{R_{ck}}{\gamma_R}$$

$$R_{ck} = R_{pk} + R_{fk}$$

$$R_{pk} = q_p \cdot A_p$$

$$R_{fk} = \int_0^L \tau_f \cdot p_f \cdot dz$$



RESISTENCIA A HUNDIMIENTO: SOLUCIONES ANALÍTICAS (C.T.E.).

Suelos incoherentes.

Resistencia por punta $q_p = f_p \cdot \sigma_{vp} \cdot N_q \leq 20 \text{ MPa}$ $f_p = 3$ (pilotes hincados)

siendo: $= 2,5$ (pilotes in situ)

σ'_{vp} = Presión vertical efectiva en punta antes de pilotar

N_q = Factor de capacidad de carga

$$N_q = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \cdot e^{\pi \cdot \tan \varphi}$$

Resistencia por fuste

$$\tau_f = \sigma'_v \cdot K_f \cdot \tan \varphi \leq 120 \text{ kPa}$$

siendo:

σ'_v = Presión vertical efectiva al nivel considerado antes de pilotar

K_f = Coeficiente de empuje horizontal

$K_f = 1$ (pilotes hincados)

$K_f = 0,75$ (pilotes perforados)

f = Factor de reducción del rozamiento del fuste

$f = 1$ (pilotes de madera u hormigón “in situ”)

$f = 0,9$ (pilotes prefabricados de hormigón)

$f = 0,8$ (pilotes de acero)


RESISTENCIA A HUNDIMIENTO: SOLUCIONES ANALÍTICAS.

Suelos coherentes. Se consideran dos casos:

Resistencia a corto plazo (hundimiento sin drenaje)

Resistencia a largo plazo (hundimiento con drenaje)

Resistencia sin drenaje o a corto plazo.

Resistencia por punta

$$q_p = N_p \cdot c_u$$

siendo:

c_u = Resistencia a corte sin drenaje en punta antes de pilotar

N_q = Factor de valor 9

Resistencia por fuste $\tau_f = \frac{100 \cdot c_u}{100 + c_u}$ (c_u y τ_f en kPa)

En pilotes de acero se aplica un coeficiente reductor de 0,8.

Resistencia con drenaje o a largo plazo.

Resistencia por punta: La misma que para suelos incoherentes.

Resistencia por fuste: Salvo justificación específica no superará 0,1 MPa


RESISTENCIA A HUNDIMIENTO: C.T.E.

Suelos coherentes.- Cuando bajo la punta existan zonas arcillosas de menor resistencia q_p se limitará a

$$q_p \leq 6 \cdot \left(1 + \frac{H}{D} \right) \cdot c_u$$

H la distancia de la punta del pilote al estrato del suelo cohesivo blando inferior;

D el diámetro real o equivalente (igual área) del pilote;

c_u la resistencia al corte sin drenaje del suelo cohesivo blando.

RESISTENCIA A HUNDIMIENTO: C.T.E.

Métodos basados en el S.P.T.

Resistencia de punta.

$$q_p = f_N N \text{ (MPa)}$$

siendo

$f_N = 0,4$ para pilotes hincados

$f_N = 0,2$ para pilotes hormigonados in situ

N el valor medio de N en los SPT. A estos efectos se obtendrá la media en la zona activa inferior y la media en la zona pasiva superior. El valor de N a utilizar será la media de las dos anteriores. (véase Figura 5.5)

Resistencia de fuste.

$$\tau_f = 2,5 N \text{ (kPa)} \quad \text{antes} \quad \tau_f = 2,0 N \text{ (kPa)}$$

En cualquier caso no se utilizarán, a efectos de estos cálculos, índices N superiores a 50.

Para el caso de pilotes metálicos la resistencia por fuste se reducirá al 80% del valor correspondiente a los pilotes de hormigón.

En suelos cohesivos, con una resistencia a la compresión simple, q_u , mayor de 0,1 MPa, se podrán utilizar, a efectos orientativos, correlaciones entre los ensayos SPT y CPT (penetrómetro estático), suficientemente justificadas.

RESISTENCIA A HUNDIMIENTO: C.T.E.

Métodos basados en ensayos de penetración dinámica

Se traducen los resultados a SPT.

Métodos basados en ensayos penetrométricos estáticos

Con los penetrómetros estáticos se puede medir, de manera continua, la resistencia unitaria en la punta del cono " q_c " y también en su fuste " τ_f " en cualquier tipo de suelo, dependiendo de la potencia del equipo de ensayo.

El valor de " q_c^* " a utilizar será la media del valor medio de q_c correspondiente a la zona activa inferior y del valor medio de q_c correspondiente a la zona pasiva superior.

La carga unitaria de hundimiento por punta del pilote, se supondrá igual al 80% del valor así determinado.

$$q_p = f_q \cdot q_c^*$$

$$f_q = 0,5$$

$$f_q = 0,4$$

siendo

para pilotes hincados

para pilotes hormigonados in situ

Para pilotes de diámetro mayor que 0,5 m, se debe utilizar una estimación conservadora de la media a la hora de evaluar q_p en el entorno de la punta, se recomienda adoptar el valor mínimo medido en esa zona.

Si en el ensayo penetrométrico no se ha medido la resistencia unitaria por fuste, se debe suponer que tal valor es igual a 1/200 de la resistencia por punta a ese mismo nivel, si el suelo es granular, e igual a 1/100, si el suelo es cohesivo. En cualquier caso, la resistencia por fuste obtenida de esta manera indirecta no será superior a 0,1 MPa.



RESISTENCIA A HUNDIMIENTO: C.T.E. PILOTES EN ROCA

Resistencia por punta en roca $q_{p,d}$ de los pilotes excavados

$$q_{p,d} = K_{sp} q_u d_f$$

K_{sp} el coeficiente dado por la expresión (4.12)

q_u la resistencia a la compresión simple de la roca

d_f coeficiente de empujamiento

$$d_f = 1 + 0,4 \frac{L_r}{d} \leq 3$$

L_r profundidad de empotramiento en roca de la misma o mejor calidad que la existente en la base del apoyo

d diámetro real o equivalente (igual área) del pilote

La longitud del empotramiento debe medirse a partir de la profundidad en que se obtiene contacto con la roca en toda la sección del pilote. Esta profundidad dependerá de la inclinación local del techo rocoso.

Debe garantizarse la continuidad de la roca con características no inferiores a las consideradas en el diseño del pilote al menos en una profundidad de tres diámetros por debajo del apoyo de la punta.

Dentro de esta zona de roca se debe considerar, para la evaluación de la resistencia de los pilotes perforados, un valor de cálculo de la resistencia unitaria por fuste $\tau_{f,d}$ (MPa) igual a:

$$\tau_{f,d} = 0,2 q_u^{0,5}$$

q_u , vendrá especificado en MPa, debiéndose siempre verificar que la roca es estable en agua.

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



GRUPOS DE PILOTES.- CARGAS DE HUNDIMIENTO

Pilotes en arena (hincados)

$s \geq 2,5 \text{ i}$ $s < 4 \text{ i}$ $s = 3,5 \text{ i}$ (óptimo)

(Fenómeno de compactación del terreno)

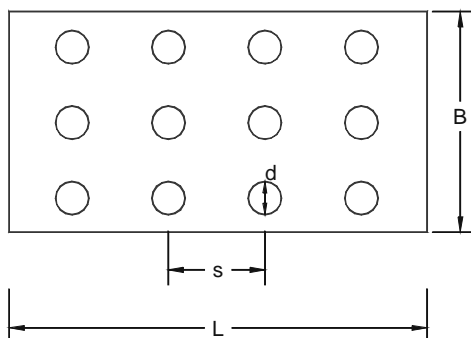
$$Q_{hg} = \sum_{i=1}^n Q_{hi}$$

Pilotes en arena (perforados)

$s \geq 2 \text{ i}$ $s \neq 4 \text{ i}$

$$Q_{hg} = 0,8 \sum_{i=1}^n Q_{hi}$$

Pilotes en arcilla



$$Q_{hg} = \text{Coef. eficacia} \cdot \sum_{i=1}^n Q_{hi}$$

$$\eta = \text{Coef. eficacia}$$

Fórmula de Los Ángeles

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

siendo

$$\Phi = \arctg \frac{s}{d} \text{ (radianes)}$$

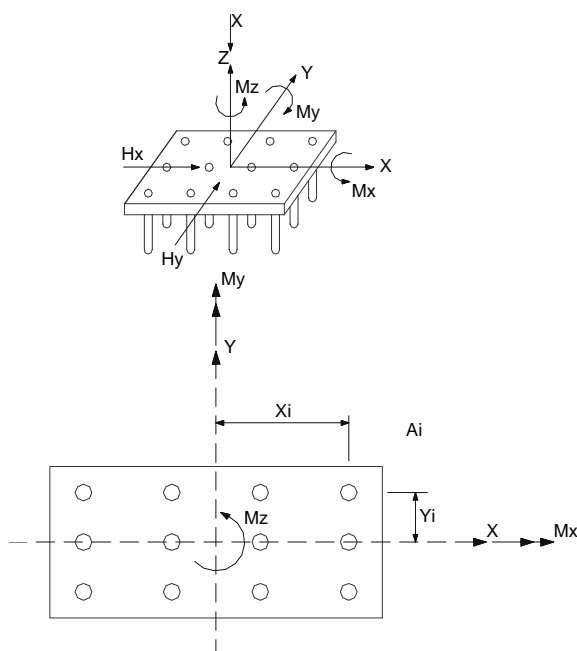
$$m = n^\circ \text{ filas}$$

$$n = n^\circ \text{ columnas}$$

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



ESFUERZOS SOBRE UN PILOTE



$$R_i = \frac{F}{n} + \frac{M_x \cdot y_i}{I_x} + \frac{M_y \cdot x_i}{I_y}$$

$$H_{xi} = \frac{A_i}{\Sigma A_i} \cdot H_x \pm \frac{A_i^2 y_i}{\Sigma A_i^2 (x_i^2 + y_i^2)} \cdot M_z$$

$$H_{yi} = \frac{A_i}{\Sigma A_i} \cdot H_y \pm \frac{A_i^2 x_i}{\Sigma A_i^2 (x_i^2 + y_i^2)} \cdot M_z$$

Si hay esfuerzos horizontales o de torsión es necesario inclinar algunos pilotes o arriostrar el encepado.

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



ASIENTOS DE PILOTES

Pilotes en arena

○ Pilotes hincados

$$s \cong \frac{d}{100} \quad d = \text{diámetro pilote}$$

○ Pilotes perforados

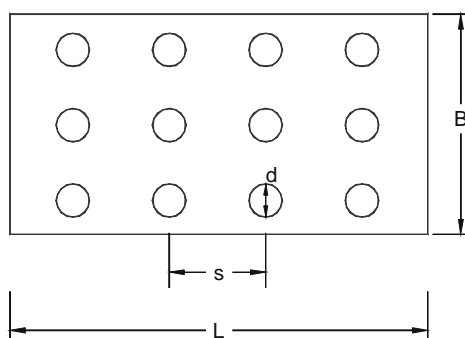
$$s \cong \frac{d}{25} \div \frac{d}{30}$$

○ Grupos de pilotes (ancho B)

$$s_g = \alpha_g \cdot s$$

s = asiento de un solo pilote

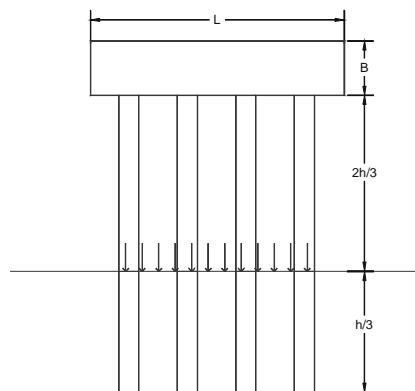
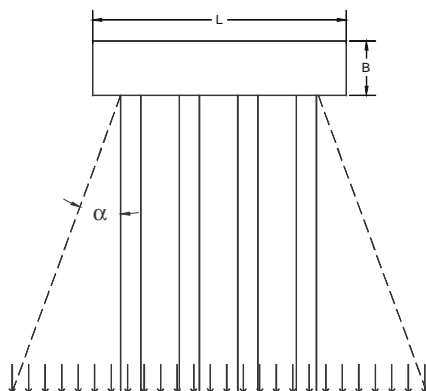
B/d	1	5	10	20	40	60
α_g	1	3,5	5	7,5	10	12



E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel

ASIENTOS DE PILOTES

Pilotes en arcilla	-	Zapata equivalente
Arcilla blanda	-	$\alpha = 10^\circ$
Arcilla compacta	-	$\alpha = 20^\circ$
Arcilla media	-	$\alpha = 30^\circ$


ASIENTOS DE PILOTES. Estimación. Art F.2.6.

Asiento admisible = $l/100 + \Delta l$ (elástico)

(Pilote individual (acortamiento elástico)

siendo

si el asiento del pilote individual aislado;

D el diámetro del pilote (para formas no circulares se obtendrá el diámetro equivalente);

P la carga sobre la cabeza;

R_{ck} la carga de hundimiento;

l_1 la longitud del pilote fuera del terreno;

l_2 la longitud del pilote dentro del terreno;

A el área de la sección transversal del pilote;

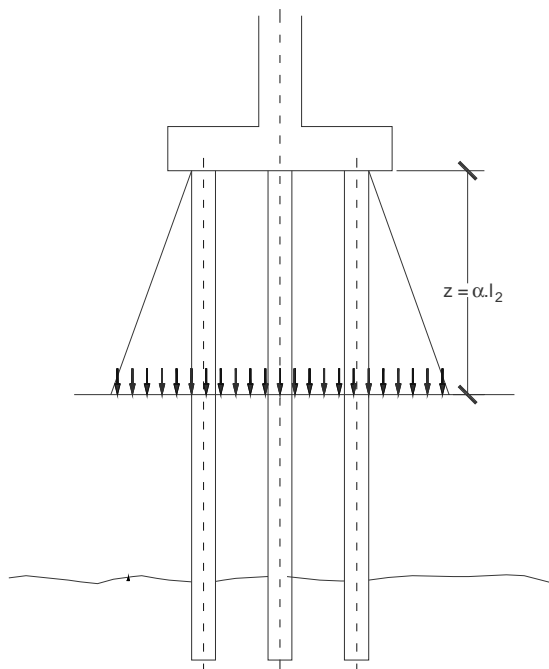
E el módulo de elasticidad del pilote;

α un parámetro variable según el tipo de transmisión de cargas al terreno, $\alpha=1$ para pilotes que trabajan principalmente por punta y $\alpha=0.5$ para pilotes flotantes. Para situaciones intermedias, se adoptará el siguiente valor de α :

$$\alpha = \frac{1}{R_{ck}} (0,5 R_{fk} + R_{pk})$$



ASIENTOS DE PILOTES



Dimensiones transversales de la zapata equivalente

$$B_1 = B_{\text{grupo}} + (1 - \alpha) l_2$$

$$L_1 = L_{\text{grupo}} + (1 - \alpha) l_2$$



EFFECTOS PARÁSITOS

Rozamiento negativo. – El asiento del terreno es mayor que el del pilote.

Se produce por:

C Consolidación de rellenos o estratos recientes.

C Consolidación de estratos compresibles por sobrecargas superficiales.

C Descensos de nivel freático.

C Humectación de niveles colapsables.

C Asientos de terrenos granulares por cargas dinámicas (sismo o vibraciones).

C Subsidiencias.

La carga debida al rozamiento negativo puede estimarse como

$$F_{s,neg} = \sum_{i=1}^n \beta_i \cdot \sigma'_{vi}$$

Siendo

i cada una de las unidades geotécnicas consideradas a lo largo del pilote.
 β 0,25 en arcillas y limos blandos; 0,1 en arenas flojas y 0,8 en arenas densas.
 σ'_{vi} la tensión efectiva en el punto del fuste considerado.



EFFECTOS PARÁSITOS

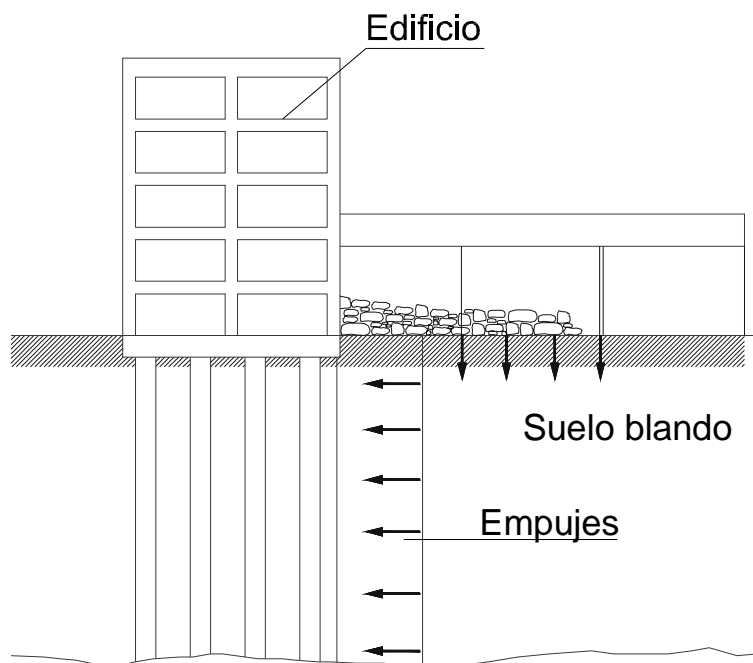
Empujes horizontales por sobrecargas



Se producen por

C Desplazamientos horizontales del terreno por efecto de sobrecargas.

C Pilotaje en terrenos en talud.



E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



MICROPILOTES

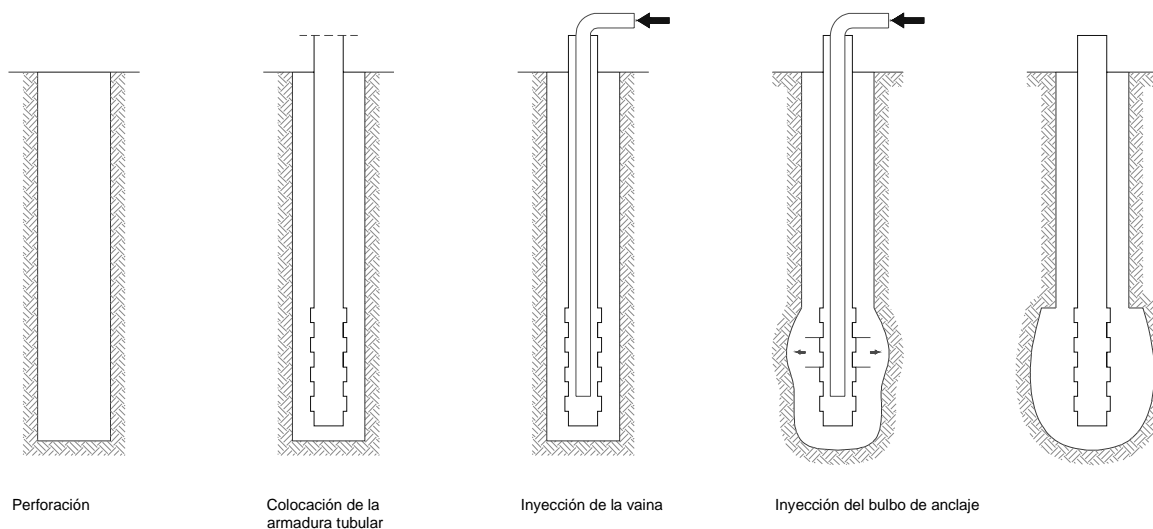
Ejecución de un micropilote.

A.- Perforación.

B.- Colocación de la armadura tubular.

C.- Inyección de la vaina.

D.- Inyección del bulbo de anclaje.



E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



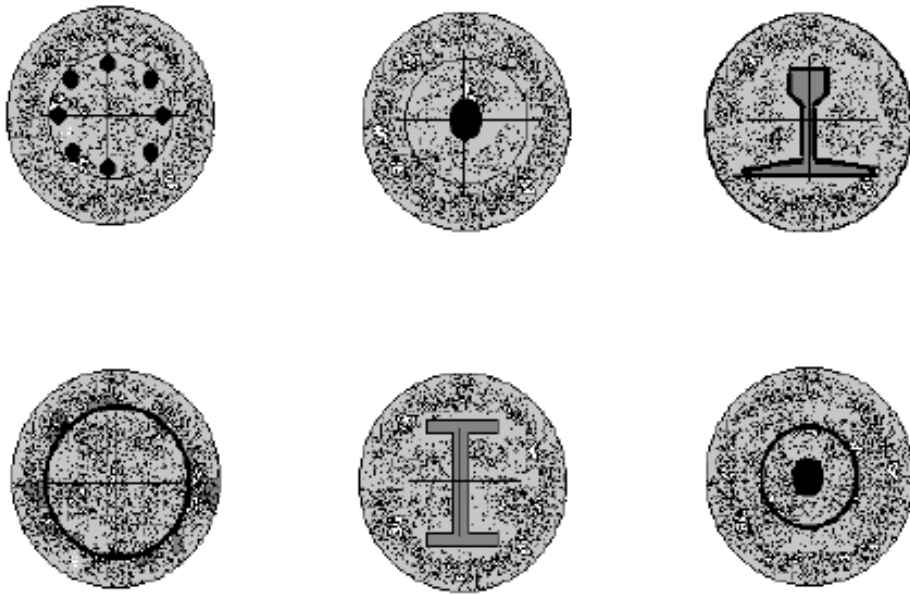
CARACTERÍSTICAS ORIENTATIVAS DE MICROPILOTES	
ALTURA MÁQUINA	Entre 2,2 m y 6 m
DIÁMETRO	75 a 300 mm (En general 125 a 150 mm)
SISTEMA DE PERFORACIÓN	Barrena Corona Trépano Tallante Trialeta
EXTRACCIÓN DEL SUELO	Con la barrena Con agua Con aire comprimido
MATERIAL DE RELLENO	Lechada de cemento Mortero de cemento Microhormigón
ARMADO	Barras Tubería Tubería + barra
HORMIGONADO	Gravedad A baja presión (0,5 a 1 Mpa) A media presión (3 a 4 Mpa)
CARGAS	100 a 1000 kN (valores normales 150 a 300 kN)

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



MICROPILOTES.- PROCESO CONSTRUCTIVO

- C **Replanteo de los micropilotes.**
- C **Acceso de la maquinaria al punto concreto.**
- C **Perforación y extracción del suelo.**
- C **Colocación de la tubería y las armaduras.**
- C **Hormigonado.**

**MICROPILOTES**

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel

**MICROPILOTES**

- Micropilotes de hormigón armado.
- Micropilotes de tubo de acero.
- Micropilotes de tubo de acero con barra central de acero.



E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel

**MICROPILOTES.- ACCESO DE LA MAQUINARIA.**

- A veces es preciso desmontarla.
- El replanteo debe ser cuidadoso.
- Comprobación estructural del forjado. A veces hay que apearlo.



E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel

**MICROPILOTES.- ACCESO DE LA MAQUINARIA.**

- Es necesario separar el cabezal de muros o pilares entre 10 y 25 cm.



E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



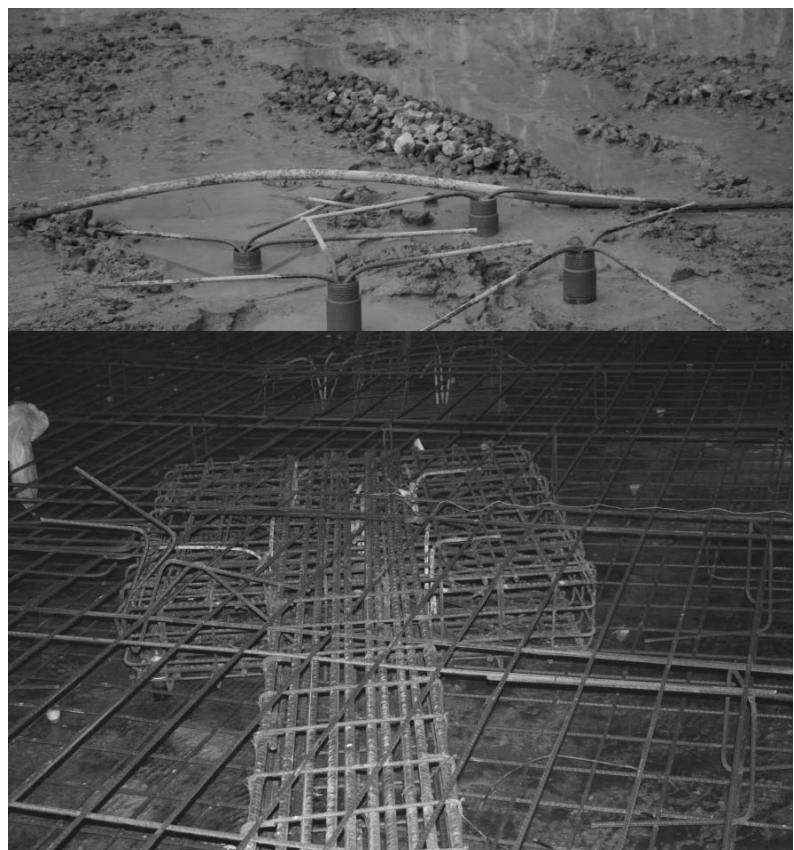
MICROPILOTES



E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



MICROPILOTES



E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



COMPROBACIÓN DE LA INTEGRIDAD DE PILOTES

Métodos utilizados para comprobar la integridad estructural de pilotes mediante sistemas no destructivos:

- a) El método sónico mediante martillo de mano que genera una onda sónica que baja por el fuste del pilote, rebota en la punta y es captada por un acelerómetro. También se le conoce como "ensayo de impedancia mecánica" o "sonic echo" (en inglés).
- b) El método de cross-hole ultrasónico, que consiste en hacer descender un emisor y un receptor de ultrasonidos por dos conductos huecos paralelos en el interior del fuste del pilote, registrándose el tiempo que tarda la onda en recorrer la distancia entre ambos. También se le conoce como "sondeo sónico" o "ensayo por transparencia sónica".
- c) El tercer método es el ensayo dinámico mediante un impacto importante sobre la cabeza del pilote. Generalmente se realiza en pilotes prefabricados utilizando el mismo martillo de hincia, siendo al mismo tiempo un ensayo de integridad estructural del pilote y un ensayo rápido de carga. En todo el mundo se está ya utilizando también sobre pilotes hormigonados "in situ".



COMPROBACIÓN DE LA INTEGRIDAD DE PILOTES



Ensayo cross-hole ultrasónico.



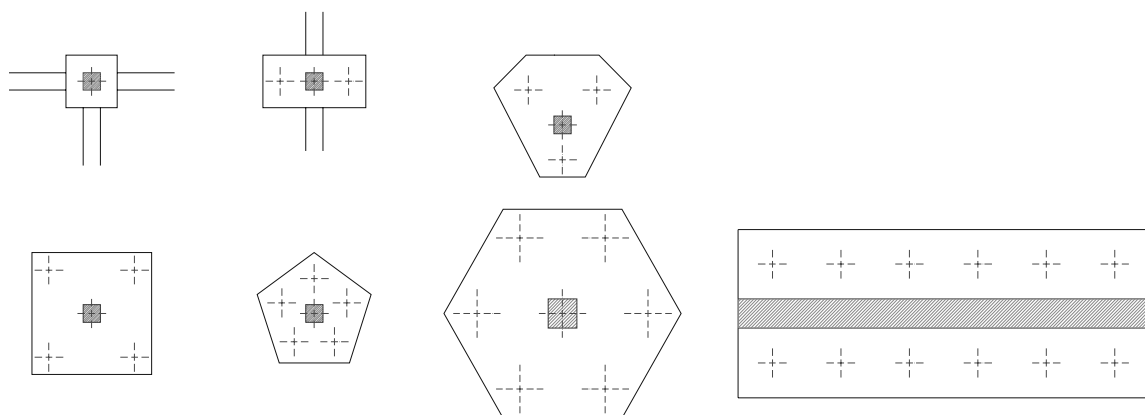
COMPROBACIÓN DE LA INTEGRIDAD DE PILOTES



E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



ENCEPADOS DE PILOTES y MICROPILOTES.

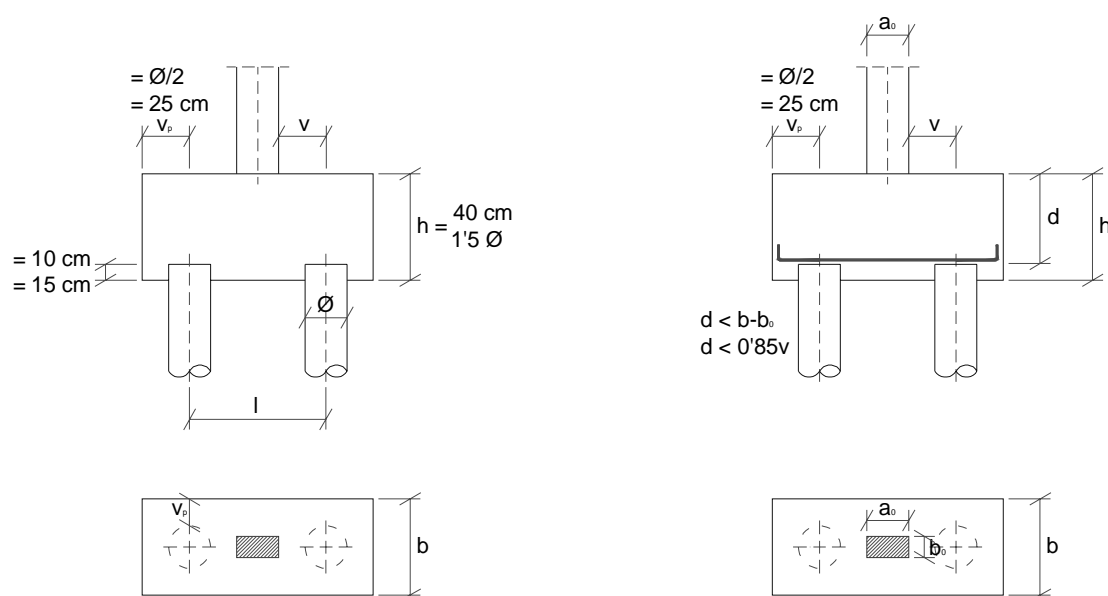


Tipos de encepados

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



ENCEPADOS DE PILOTES y MICROPILOTES.



Dimensiones recomendadas de encepados

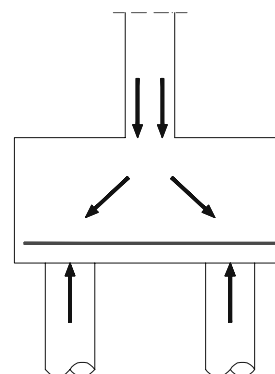
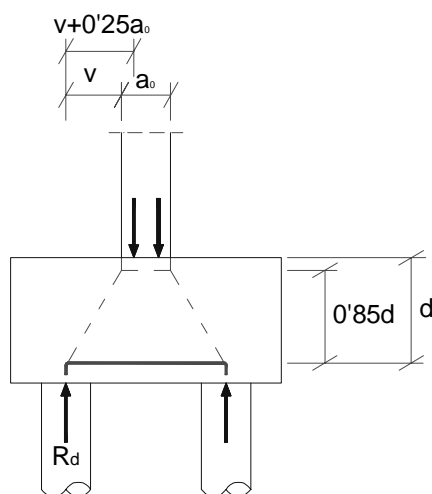
E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



ENCEPADOS DE PILOTES y MICROPILOTES.

Modelo de bielas y tirantes.

Anclaje de la armadura



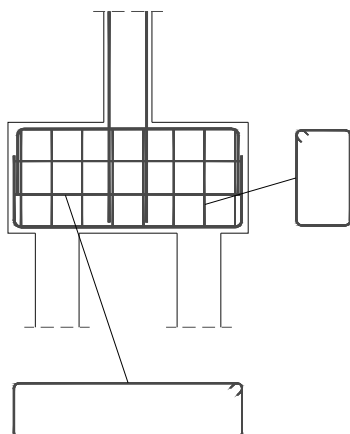
$$T_d = \frac{R_d \cdot (v + 0,25 \cdot a_0)}{0,85 \cdot d} = A_s \cdot f_{yd} \quad f_{yd} \leq 400 \text{ N/mm}^2$$

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel

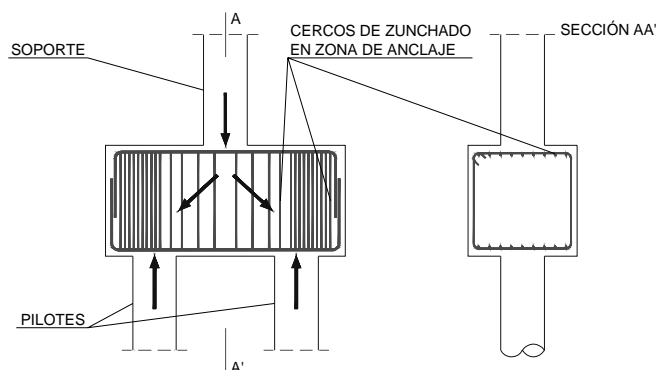


ENCEPADOS DE PILOTES y MICROPILOTES.

Armadura secundaria del encepado.



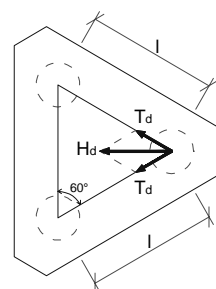
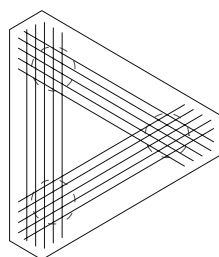
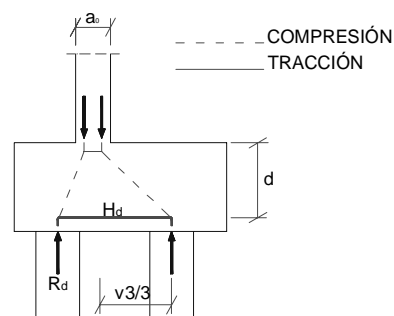
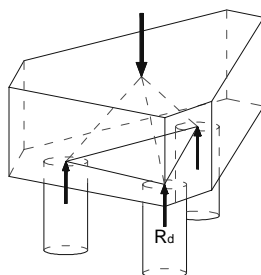
Zunchado en zonas de anclaje.



E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



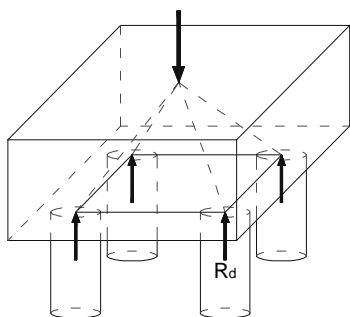
ENCEPADOS DE TRES PILOTES



$$T_d = 0,68 \frac{R_d}{d} \cdot (0,58 \cdot l - 0,25 \cdot a_0) = A_s \cdot f_{yd}$$

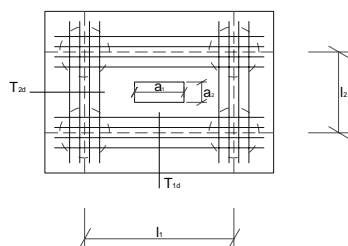
$$f_{yd} \leq 400 \text{ N/mm}^2$$

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



ENCEPADOS DE CUATRO PILOTES

--- COMPRESIÓN
— TRACCIÓN



$$T_{1d} = \frac{R_d}{0,85 \cdot d} \cdot (0,50 \cdot l_1 - 0,25 \cdot a_1) = A_{s1} \cdot f_{yd}$$

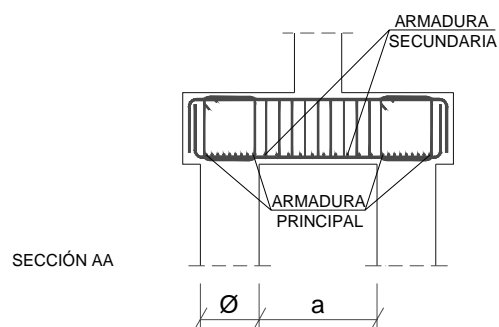
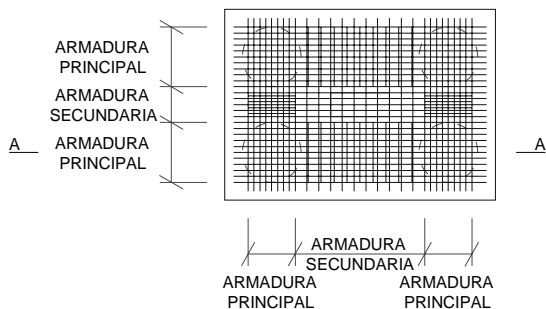
$$f_{yd} \leq 400 \text{ N/mm}^2$$

$$T_{2d} = \frac{R_d}{0,85 \cdot d} \cdot (0,50 \cdot l_2 - 0,25 \cdot a_2) = A_{s2} \cdot f_{yd}$$

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



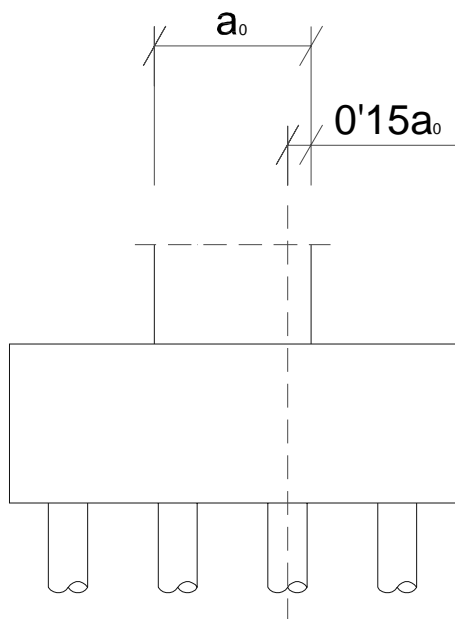
ENCEPADOS DE CUATRO PILOTES



E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



ENCEPADOS FLEXIBLES.

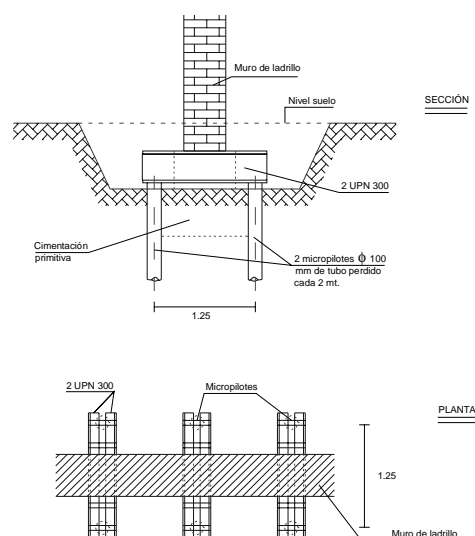
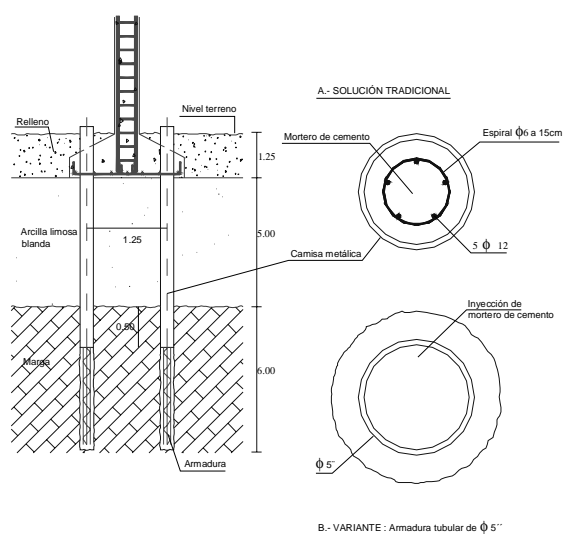


Sección de referencia.

Como en zapatas.

Es muy discutible su uso en recalces.

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



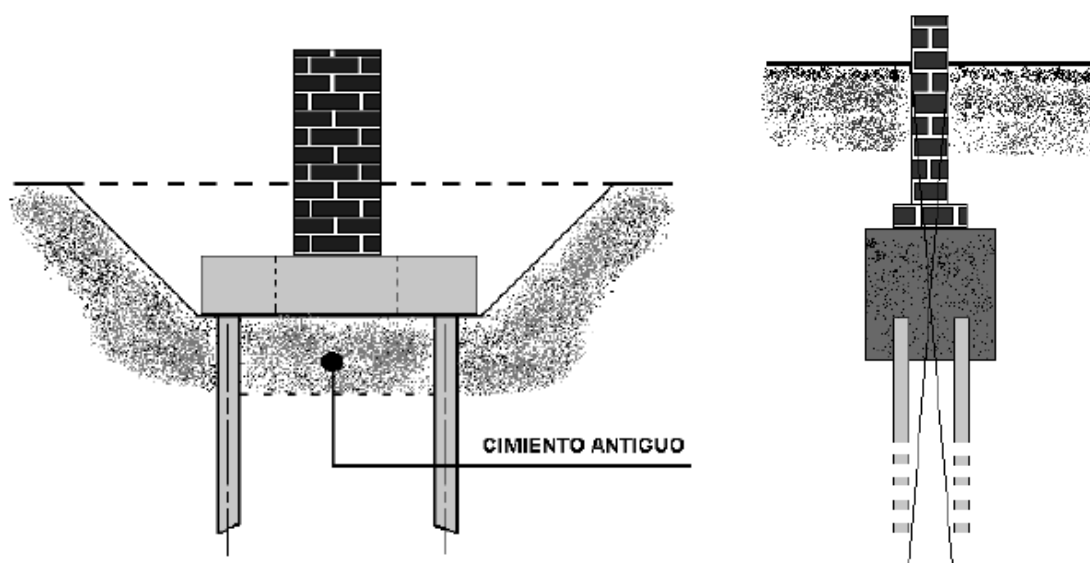
Recalce de zapata con micropilotes.

Recalce de muro con micropilotes.

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



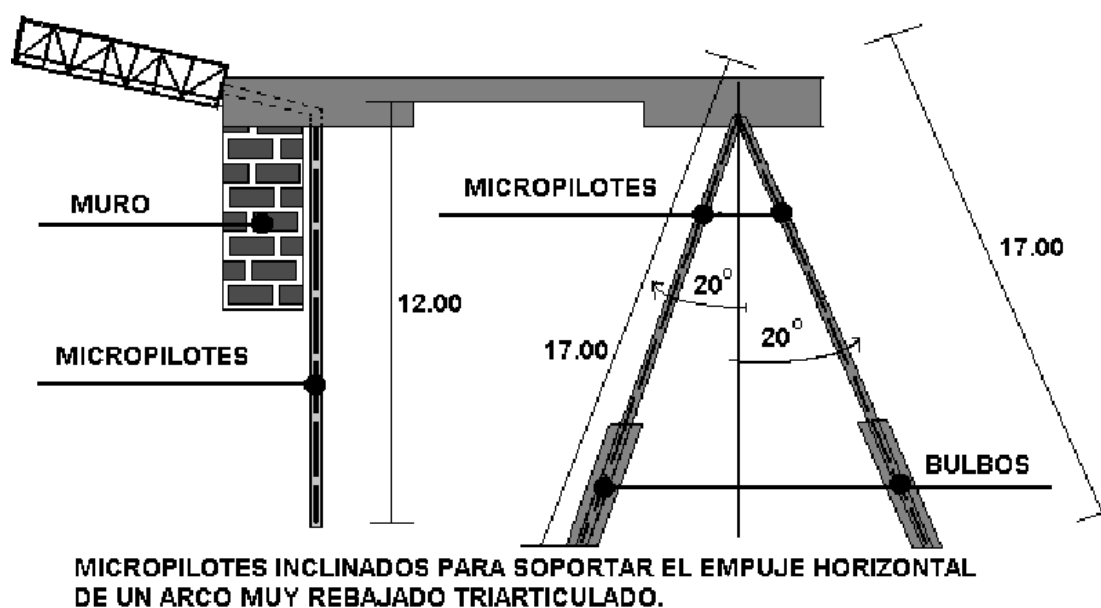
MICROPILOTES



E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



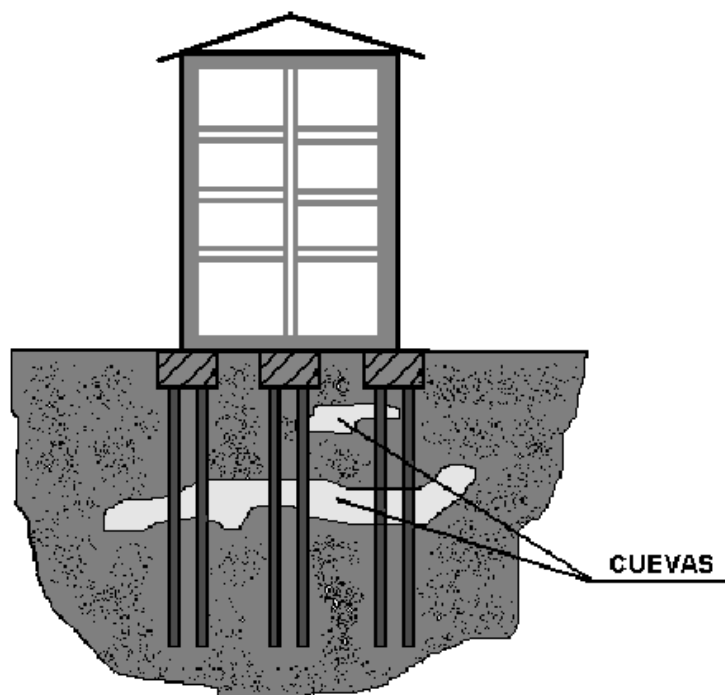
MICROPILOTES



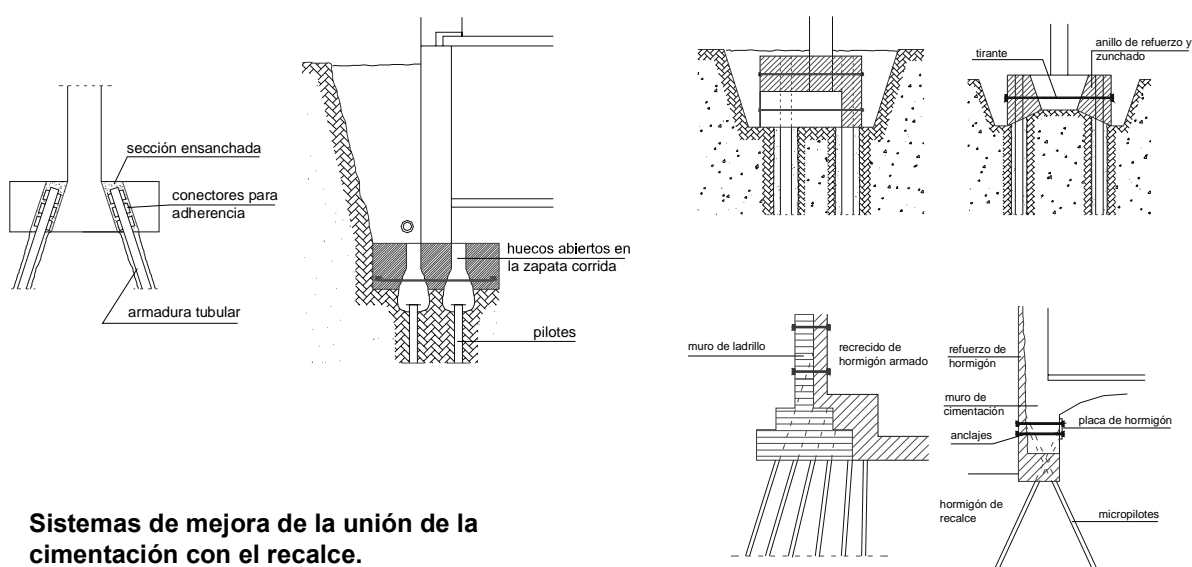
E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



MICROPILOTES

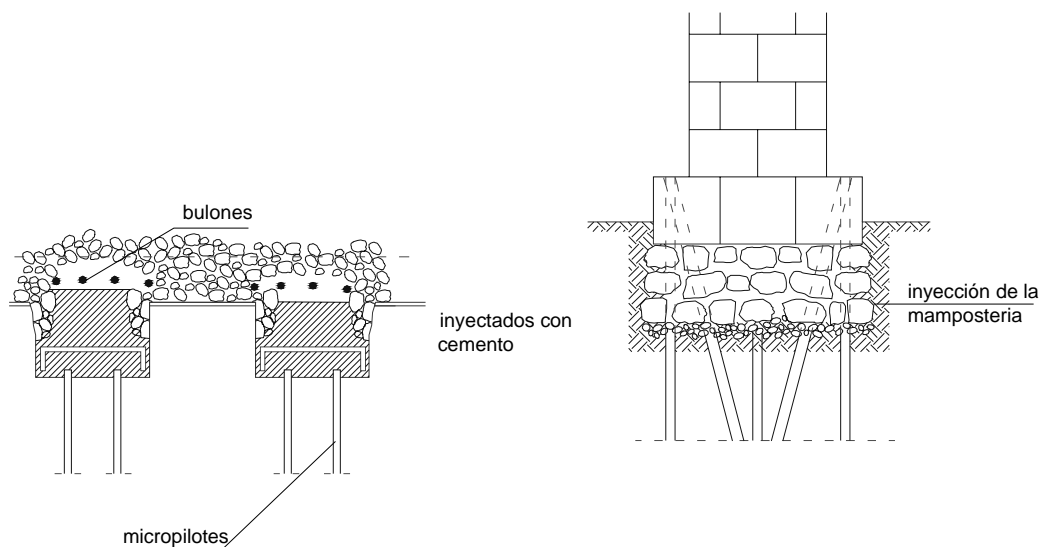


E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



Sistemas de mejora de la unión de la cimentación con el recalce.

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel

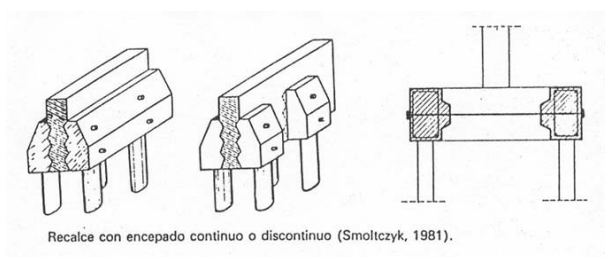


a) cosido de mampostería y bataches de hormigón

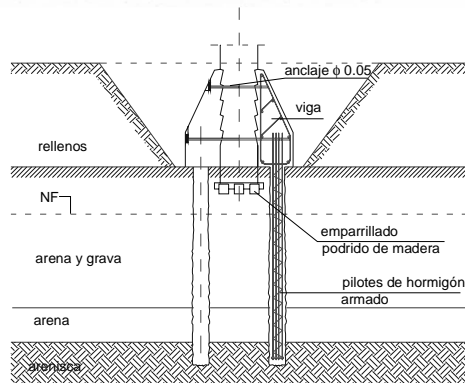
b) inyección de la zapata

Sistemas de mejora de la unión de la cimentación con el recalce en zapatas de mampostería.

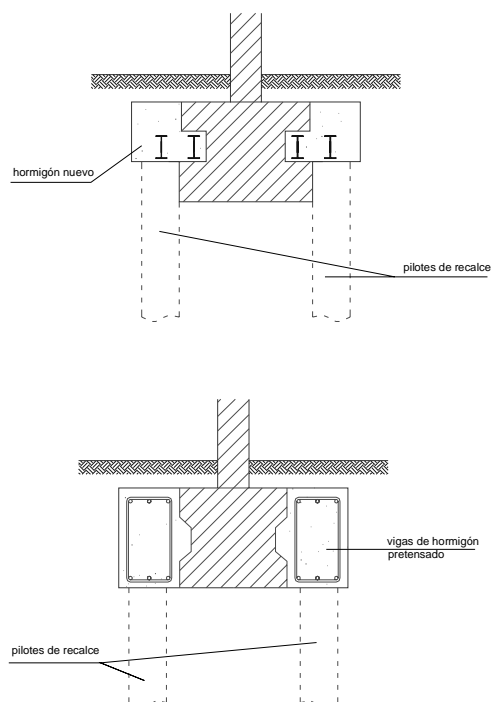
E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



Recalce con encepado continuo o discontinuo (Smolczyk, 1981).

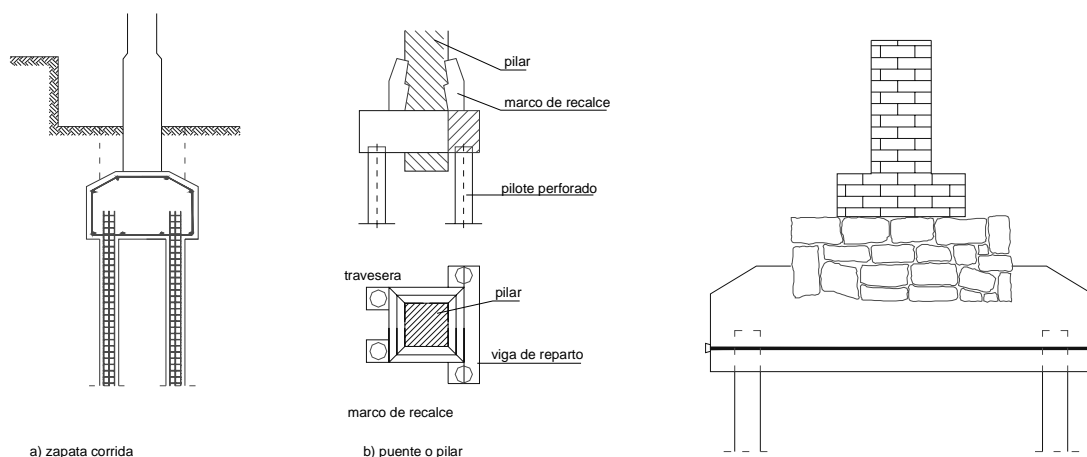


Carreras dentadas de hormigón armado. Iglesia de San Luis, Sarrebruck (Schultze, 1970)



Sistemas de unión entre cimentación y micropilotes.

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel

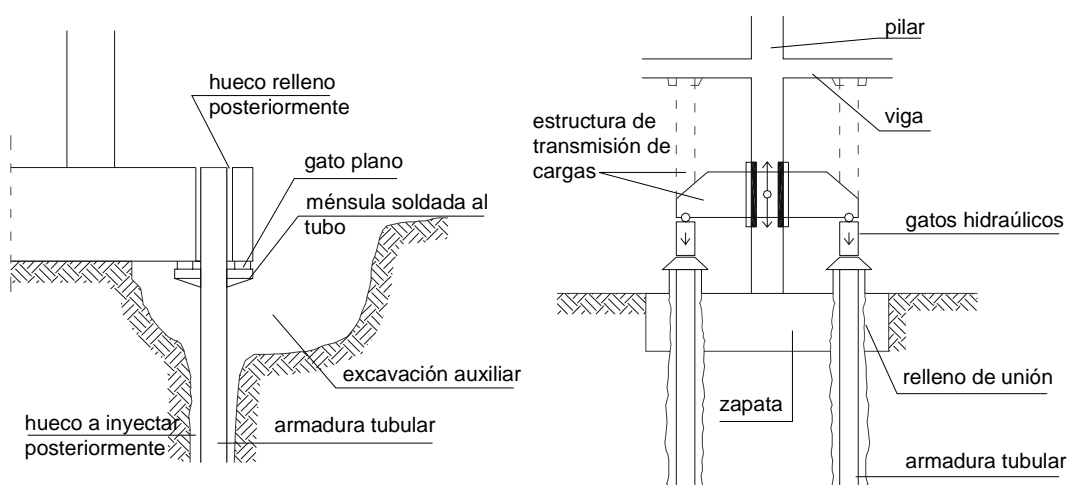


Sistemas de hormigón armado.

Sistemas pretensados.

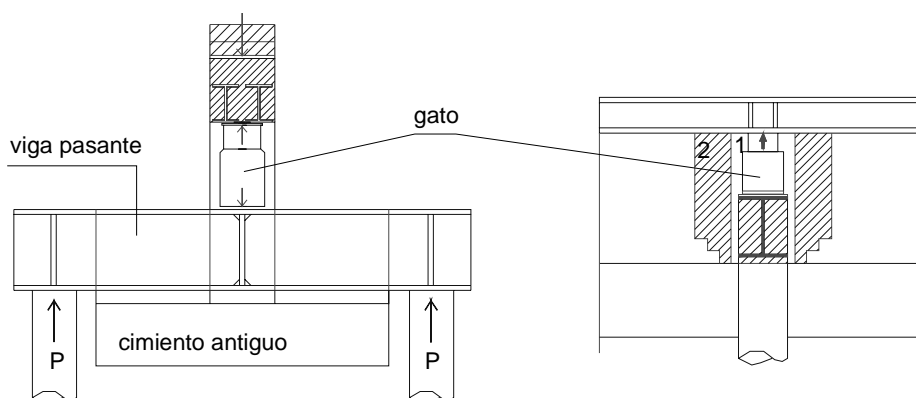
Sistemas de unión entre cimentación y micropilotes.

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



Sistemas de puesta en carga de micropilotes.

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel

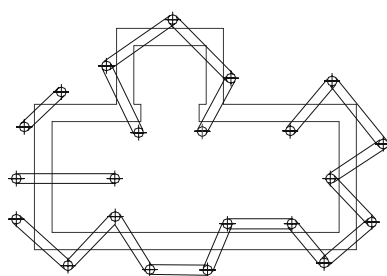


- a) apertura del hueco 1, colocación de la viga y puesta en carga del gato.
- b) apertura de los huecos 2 y hormigonado de los mismos
- c) retirada del gato y hormigonado de 1 y del cabezal metálico

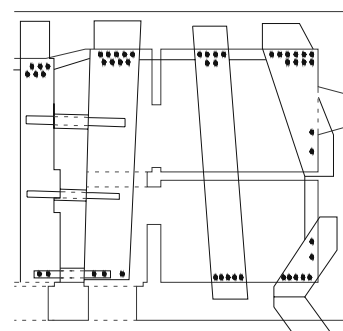
Puesta en carga del recalce mediante gatos (Pieper, 1983)

Sistemas de compensación con gatos.

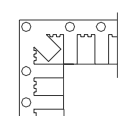
E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



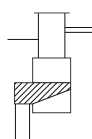
Disposición de pilotes de recalce al trespelillo



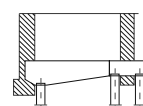
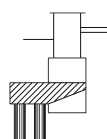
a) Recalce del edificio Cadmus (s.XVII)



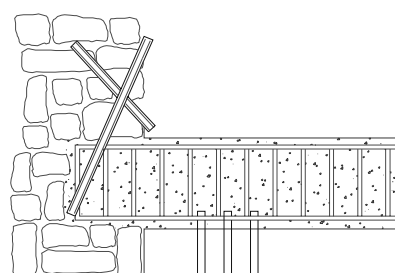
Recalce en ménsula



Ménsulas con un pilote-tirante



Ménsula compensada



Sistemas de recalce de edificios con muros de mampostería.

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel

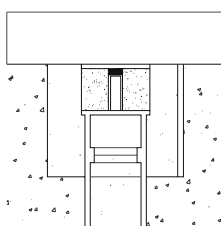
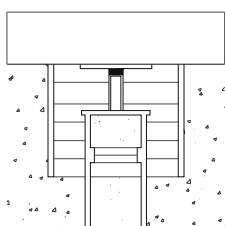
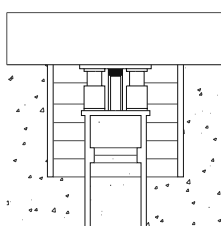
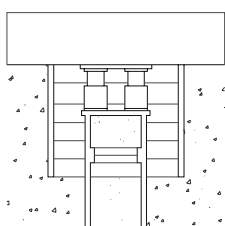


Sistemas de recalce de edificios con muros de mampostería.

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel

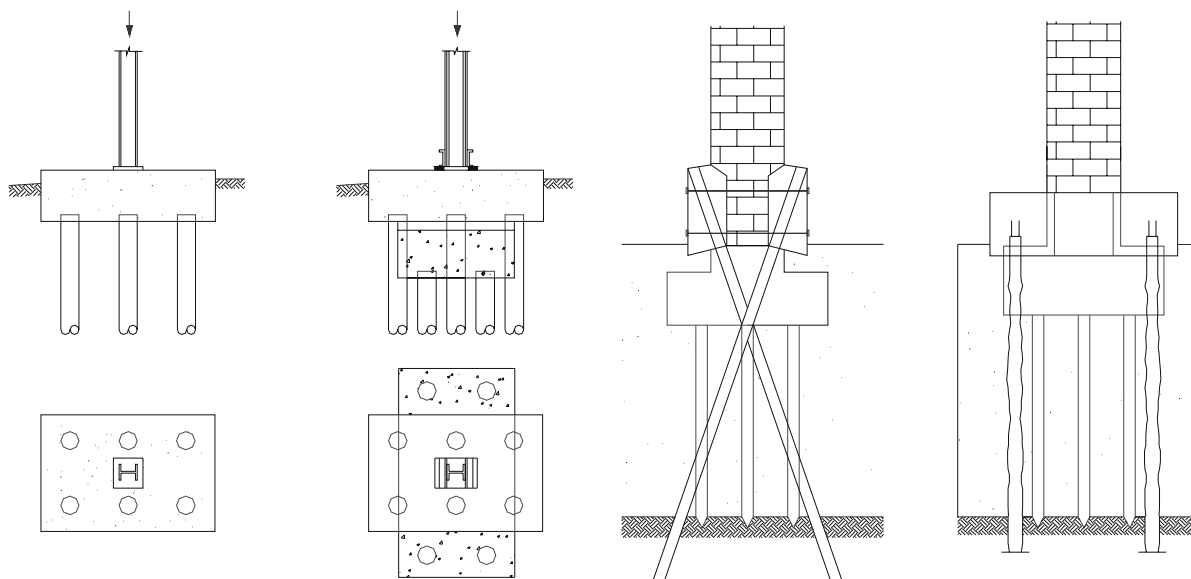


PUESTA EN CARGA CONTROLADA DE PILOTES.



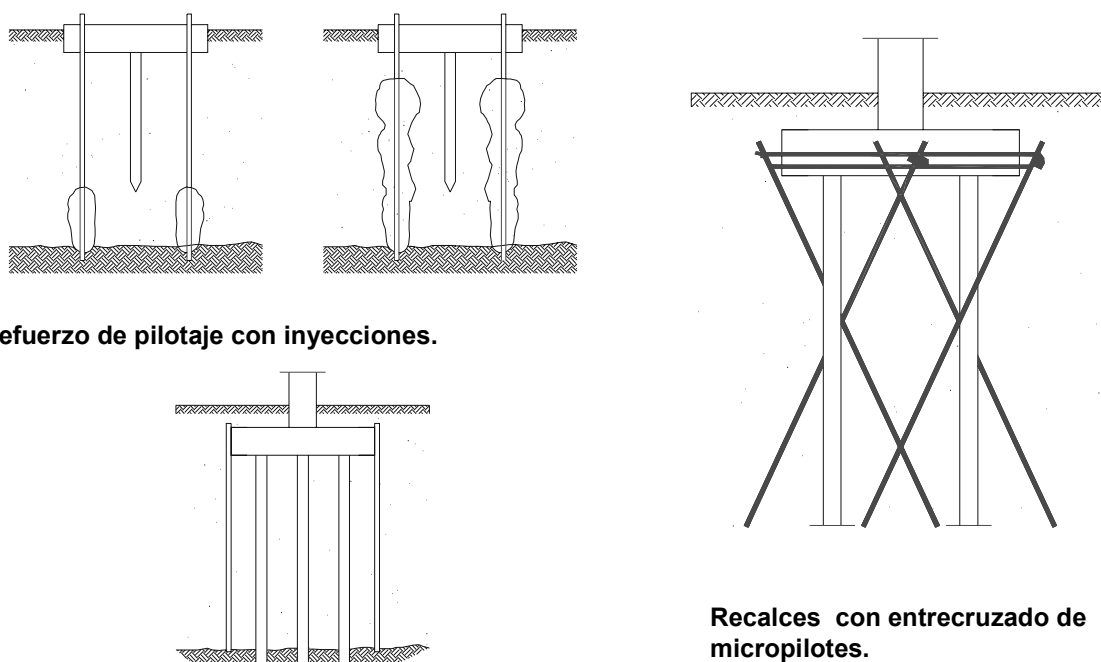
Pilotes Pretest.

- Introducción de gatos entre pilote y zapata y puesta en carga.
- Introducción del soporte intermedio acunado.
- Recogida de los gatos.
- Final.

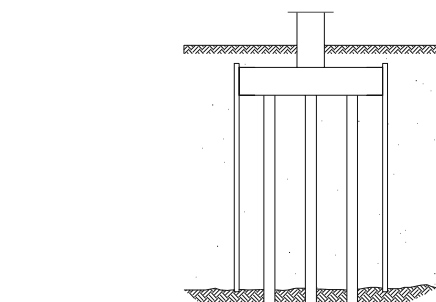


Recalces de pilotajes con pilotes.

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



Refuerzo de pilotaje con inyecciones.

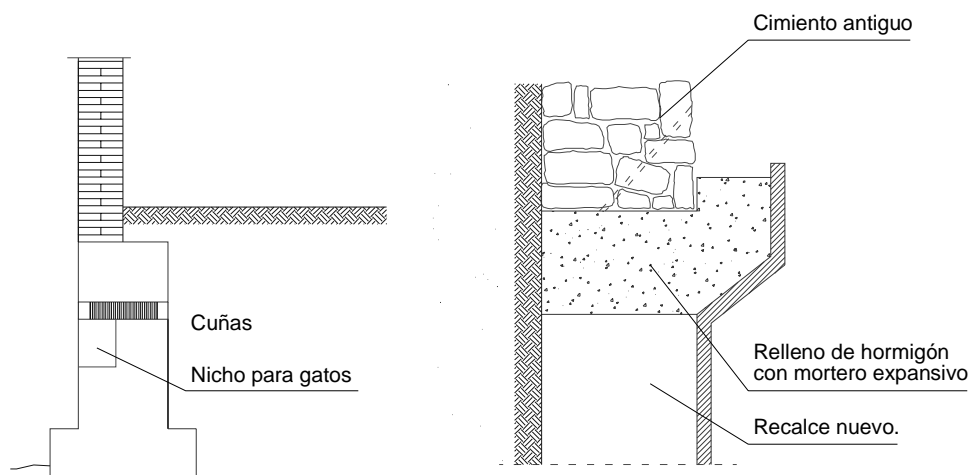


Refuerzo de pilotaje por confinamiento.

Recalces de pilotajes.

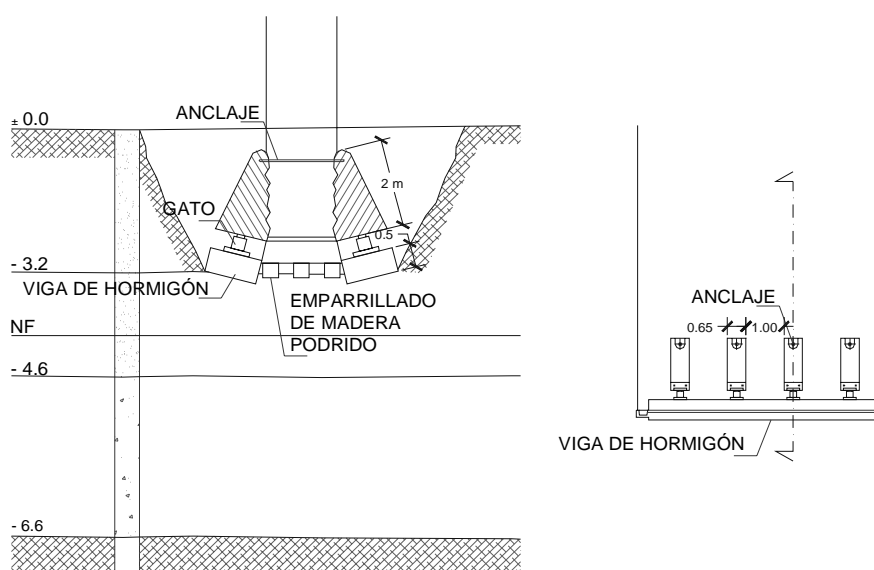
Recalces con entrecruzado de micropilotes.

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



Sistemas de puesta en carga de recalces.

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



Sistemas de puesta en carga de recalces.

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



MICROPILOTES.- UNIÓN CON LA CIMENTACIÓN EXISTENTE.

Es el punto más crítico en numerosas intervenciones. Tiene dos puntos cruciales: la transferencia de cargas y el reparto de cargas.

TRANSFERENCIA DE CARGAS

El procedimiento de unión debe garantizar la transferencia de cargas entre cimentación existente y recalce. Muy importante en micropilotes y en recalces superficiales mediante aumento de la superficie de cimentación.

Procedimientos:

- Mediante transferencia directa (ej.: micropilote que atraviesa la cimentación).
- Mediante elementos auxiliares (ej.: encepado unido a micropilotes ya la cimentación).

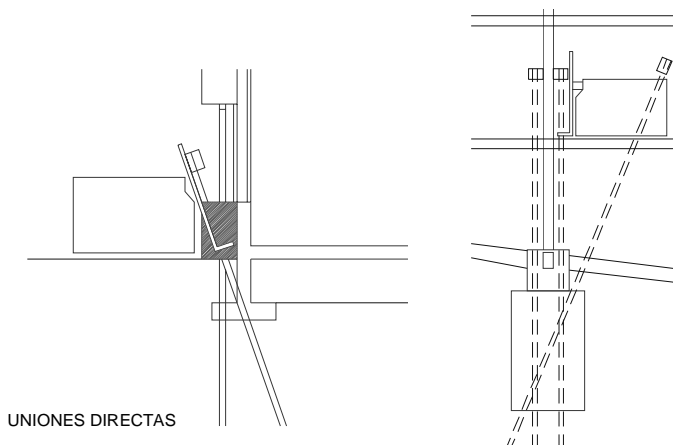
Uniones directas

Uniones mediante encepados auxiliares

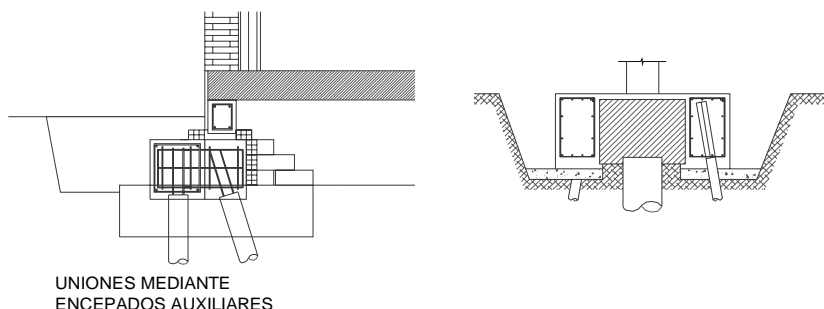


MICROPILOTES.- UNIÓN CON LA CIMENTACIÓN EXISTENTE.

Uniones directas



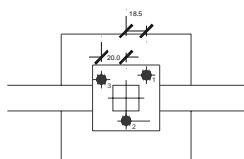
Uniones mediante encepados auxiliares.



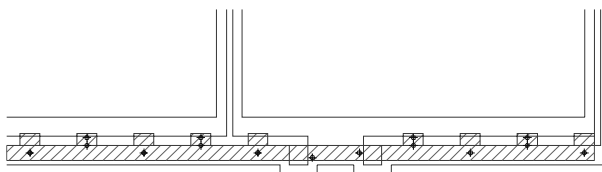
MICROPILOTES.- UNIÓN CON LA CIMENTACIÓN EXISTENTE.

REPARTO DE CARGAS

- No sólo se ha de garantizar la unión, también se debe diseñar de modo que el reparto de cargas sea adecuado entre la cimentación existente y los elementos del recalce.
- El reparto de cargas es especialmente crítico en los micropilotajes.
- La situación óptima es que los micropilotes formen un polígono regular con centro en el eje del pilar (o en el punto de aplicación de la carga excéntrica). Rara vez se puede conseguir.
- Es frecuente recurrir a micropilotes inclinados, para un mejor reparto de cargas, y también por razones constructivas.



Zapata aislada



Zapata corrida con micropilotes al tresbolillo (inclinados y verticales).

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel

MICROPILOTES.- UNIÓN CON LA CIMENTACIÓN EXISTENTE.

HIPÓTESIS RESPECTO A LA UNIÓN DE ELEMENTOS

a) Hipótesis de que los micropilotes sólo trabajan a axiles y existe una rótula en el encuentro del micropilote con la base de cimentación:

- Si el eje de aplicación de la carga (centrada o excéntrica) está fuera del núcleo central de polígono que forman los micropilotes, unos micropilotes trabajan a tracción y otros a compresión.
- Si la excentricidad es grande, pueden producirse compresiones o tracciones excesivas en los micropilotes.

b) Hipótesis de que los micropilotes pueden trabajar a flexión y existe un cierto grado de empotramiento en el encuentro del pilote con la base de cimentación:

- Es una hipótesis más realista.
- En general los micropilotes resisten poco a flexión si el armado es con tubería, y casi nada si el armado es con barras.
- En determinadas situaciones es fácil alcanzar el momento plástico en el encuentro, y se forma una rótula plástica.

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel

MICROPILOTES.- UNIÓN CON LA CIMENTACIÓN EXISTENTE.

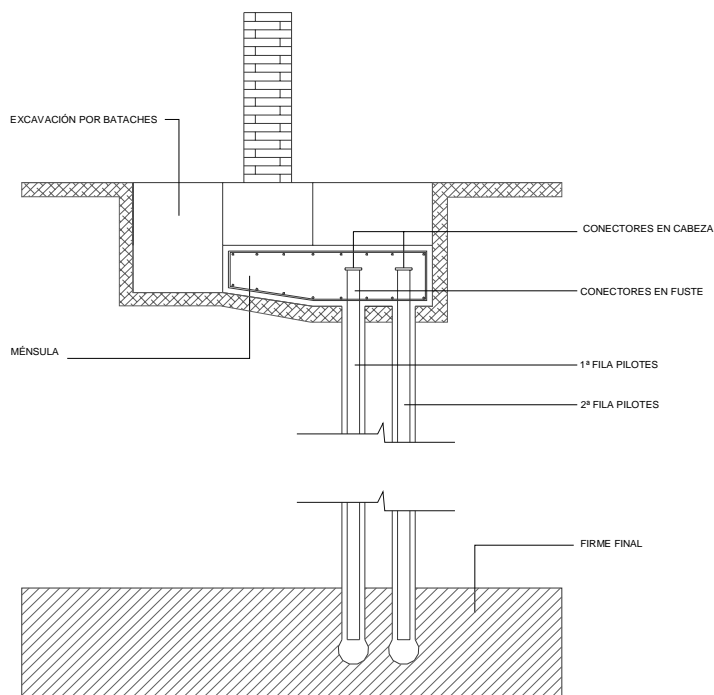
HIPÓTESIS RESPECTO A LA RIGIDEZ DE ELEMENTOS

- a) Hipótesis de cimentación rígida y micropilotes deformables.
 - Válida para zapatas y pozos aislados, y también para zapatas corridas y losas muy rígidas.
 - Las cargas se reparten entre los micropilotes según la hipótesis de Navier.
- b) Hipótesis de cimentación deformable y micropilotes rígidos.
 - Válida para zapatas corridas y losas flexibles, de poco canto.
 - El reparto se hace por compatibilidad de deformaciones.
- c) Hipótesis de cimentación deformable y micropilotes deformables.
 - Válida para cualquier caso.
 - El reparto se hace por compatibilidad de deformaciones.
 - Esta hipótesis no se suele utilizar por su complejidad

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel

MICROPILOTES.- UNIÓN CON LA CIMENTACIÓN EXISTENTE.

EJEMPLOS



Recalce de zapata corrida realizado desde el exterior con micropilotes a tracción y a compresión.

Monjo y Maldonado (2001).

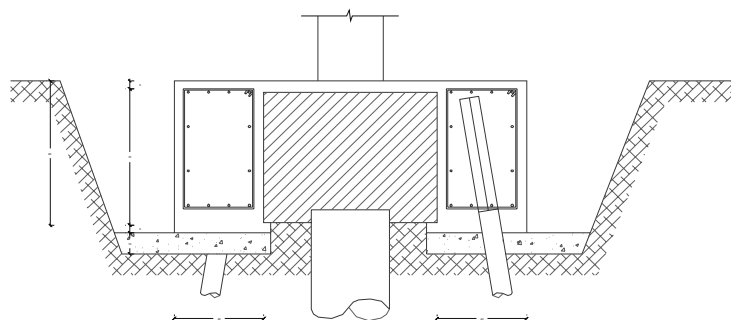
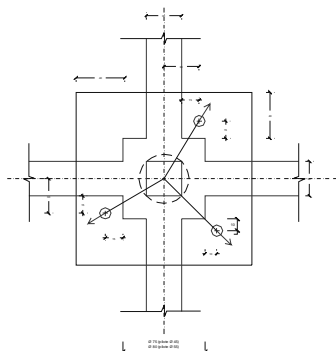
RECALCE PROFUNDO: PILOTES IN SITU CON ENCEPADO EN MÉNSULA

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



MICROPILOTES.- UNIÓN CON LA CIMENTACIÓN EXISTENTE.

EJEMPLOS



Recalce de zapata aislada realizado mediante un encepado auxiliar con una distribución en triángulo, próximo al equilátero.

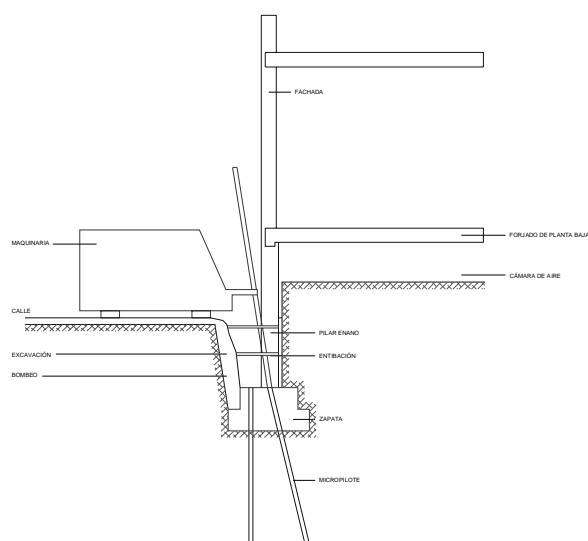
Delgado Trujillo (1991).

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



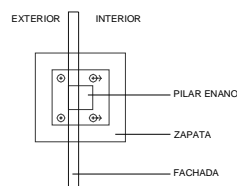
MICROPILOTES.- UNIÓN CON LA CIMENTACIÓN EXISTENTE.

EJEMPLOS

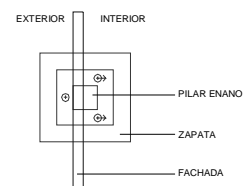


EJECUCIÓN DE MICROPILOTES DESDE EL EXTERIOR

CASO DE 4 MICROPILOTES



CASO DE 3 MICROPILOTES



POSIBLE SITUACIÓN DE LOS MICROPILOTES EN LAS ZAPATAS

Recalce de zapatas aisladas.

Delgado Trujillo (1989).

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



MICROPILOTES.- FORMACIÓN DE SÓTANOS.



E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



MICROPILOTES



E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



MICROPILOTES



E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



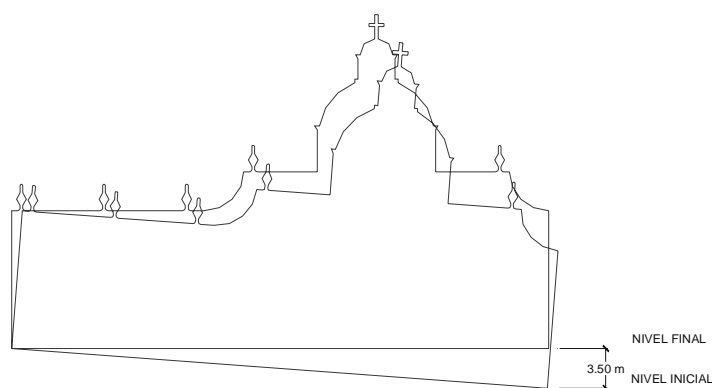
RECUPERACIÓN DE DEFORMACIONES.



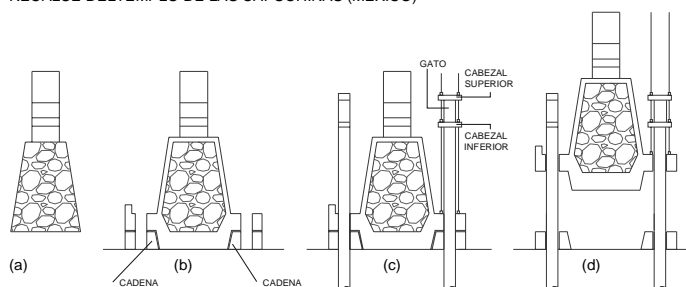
Templo de la Capuchinas de Méjico.

(Justo 1980).

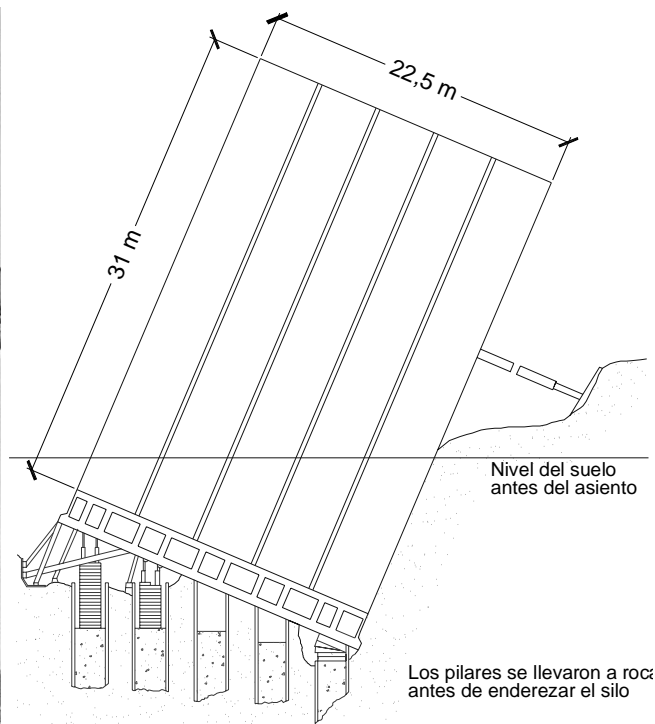
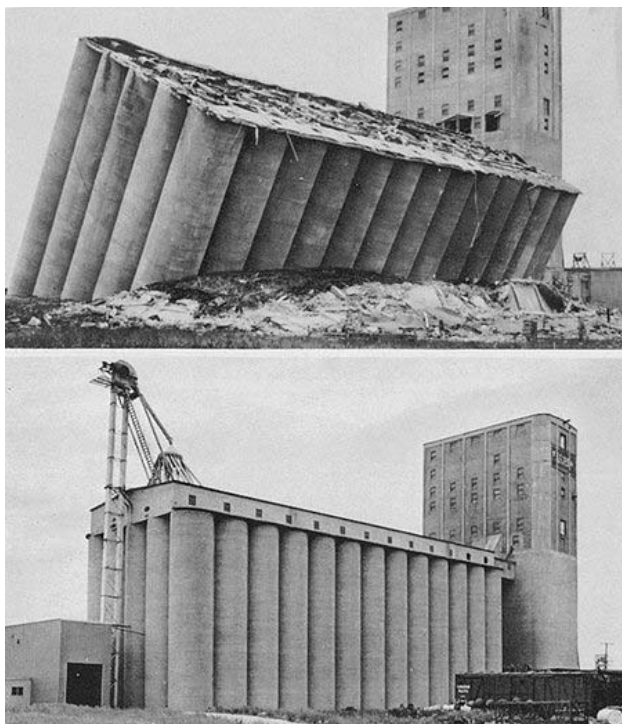
E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



RECALCE DEL TEMPLO DE LAS CAPUCHINAS (MEXICO)

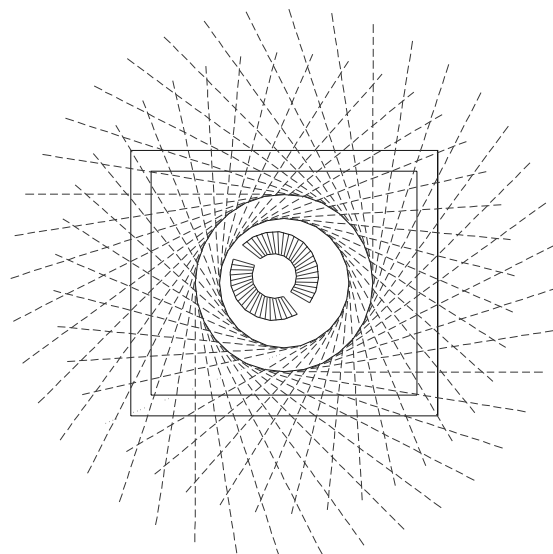
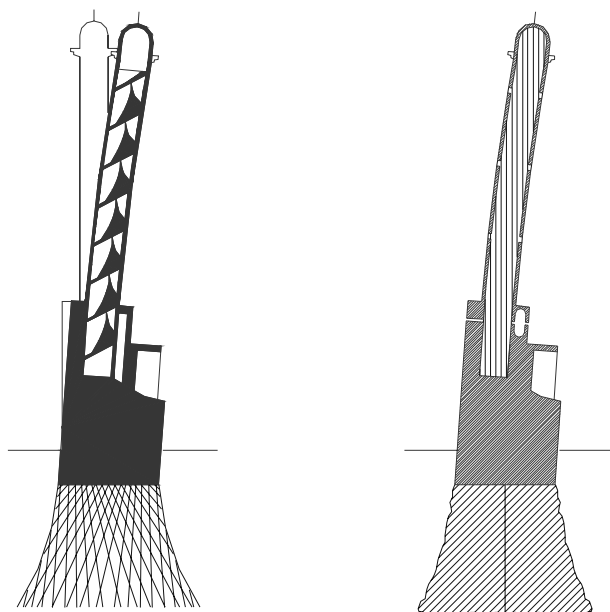


- a.- Zapata original de mampostería.
- b.- Zunchado con hormigón armado.
- c.- Pilotes con cabezales y gatos.
- d.- Proceso de levantamiento.



Silos de Transcona (Winnipeg, Canadá).- Losa de 23,50x60 m h=0,60 m a 4 m de profundidad.

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



Ejemplos de recalces.
Minarete Al-Habda. Mosul. Irak.



E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



RECALCES CON ELEMENTOS NUEVOS