



Universidad  
Politécnica  
de Cartagena

# UNIDAD DIDÁCTICA V. REGIONES D Y ELEMENTOS DE CONTENCIÓN Y CIMENTACIÓN

## LECCIÓN 22

### CIMENTACIONES PROFUNDAS

DPTO. DE INGENIERÍA MINERA Y CIVIL  
ÁREA DE INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN



Dpto. de  
Ing. Minera  
y Civil

UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA DE  
CARTAGENA

CONSTRUCCIÓN  
EN HORMIGÓN  
1º curso Máster  
Ing. de Caminos

LECCIÓN 22

CIMENTACIONES PROFUNDAS

## ÍNDICE

- I. Generalidades
- II. Tipos de pilotes
- III. Criterios de elección de pilotes
- IV. Cálculo de cargas y esfuerzos en los pilotes
- V. Cálculo geotécnicos
  - V.1 Carga de hundimiento del pilote aislado
  - V.2 Carga de hundimiento de un grupo de pilotes
  - V.3 Asientos de pilotes y grupos de pilotes
  - V.4 Pilotes sometidos a solicitaciones especiales
- VI. Cálculos estructurales
  - VI.1 Dimensionado estructural del pilote
  - VI.2 Dimensionado de elementos auxiliares
- VII. Zonas sísmicas

### PILOTAJE

#### DEFINICIÓN

Es una cimentación ...

... constituida por una zapata o ENCEPADO que se apoya sobre un grupo de columnas o PILOTES ...

... que se introducen profundamente en el terreno para transmitir su carga al mismo.

*Micropilotes* si  $\varnothing \leq 30$  cm, *Pilotes* si  $\varnothing > 30$  cm (y hasta 2 m aprox.)

#### ¿CUÁNDO SE EMPLEAN?

- El terreno resistente está a  $> 5-6$  m de profundidad
- Se quiere reducir o limitar los asentos del edificio
- Existe agua en el terreno
- Cargas muy fuertes y concentradas (ej. torres sobre pocos pilares)
- Se quiere evitar la incidencia sobre cimentaciones adyacentes

### GUÍA PLANIFICACIÓN ESTUDIOS GEOTÉCNICOS REG. MURCIA

#### • Zona V (Arcillas blandas y fangos):

*“La capacidad portante de estos suelos resulta baja a muy baja, siendo necesario recurrir, en general, a la ejecución de losas de cimentación, en estructuras de poca carga o con excavación de sótanos, o cimentaciones profundas mediante pilotes que transmitan la carga a estratos o niveles profundos resistentes, en estructuras de mayores cargas.”*

⇒ S. Totana, S. Alhama, Alcantarilla-Murcia-Santomera-Beniel, Salinas S. Pedro Pinatar, Los Alcázares, Los Urrutias, E. Islas Menores, SE. Los Belones, W. Escombreras, W. Cartagena, W. Pto. Mazarrón.

#### • Zona VI (Arenas litorales):

*“La capacidad portante será baja. Las estructuras de hasta tres plantas podrán cimentarse, en algunos casos, mediante cimentación superficial (zapatas). En general, en las estructuras de más de tres plantas deberá recurrirse a la ejecución de losa de cimentación (cargas moderadas) o cimentación profunda mediante pilotaje (cargas elevadas).”*

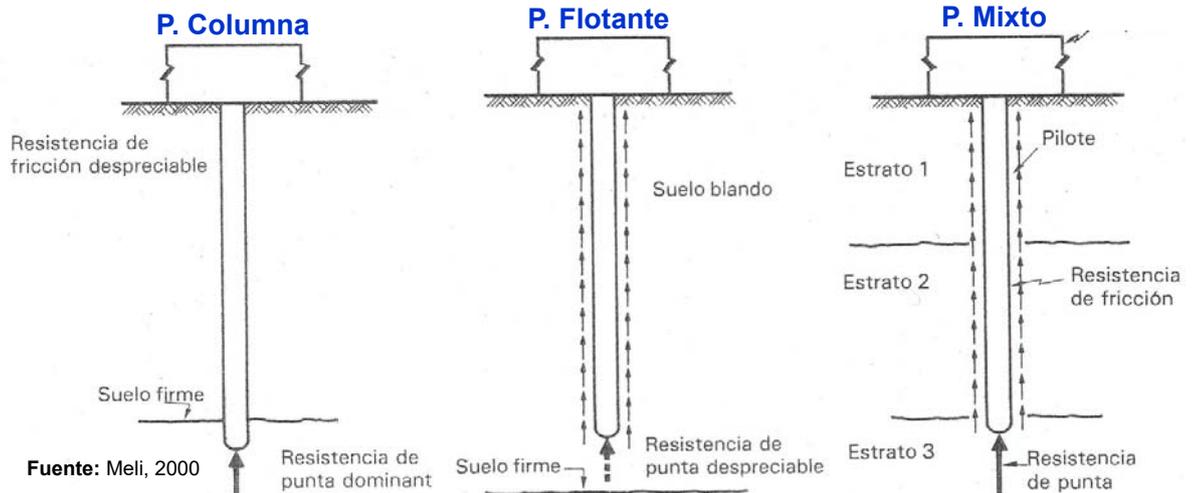
⇒ Lo Pagán-La Ribera, S. Los Alcázares, Los Urrutias, Islas Menores, SE. Los Belones, La Manga, Pto. Mazarrón, Bolnuevo.

### PILOTES COLUMNA

- Apoyados o empotrados en una base mucho más resistente que el terreno superior (arena compacta, grava, arcilla dura, roca, etc.)
- Trabajan predominantemente por punta

### PILOTES FLOTANTES

- Inmersos en terrenos de resist. media-baja (limo, arcilla fluida, etc.)
- Trabajan predominantemente por fuste (por rozamiento lateral)



5

A. TOMÁS – Área Ingeniería de la Construcción – Dpto. de Ingeniería Minera y Civil – UPCT

## TIPOS DE PILOTES

### MICROPILOTES

- $7,5 \leq \varnothing \leq 30 \text{ cm}$
- Morteros de alta dosificación de cemento ( $600 \text{ kg/m}^3$  de arena)
- Empleo:
  - Cimentación de maquinaria pesada
  - Cimentación de soleras con carga uniforme (almacenes)
  - Construcciones ligeras sobre suelos problemáticos
  - Recalce de cimientos

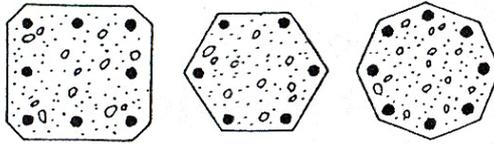
6

A. TOMÁS – Área Ingeniería de la Construcción – Dpto. de Ingeniería Minera y Civil – UPCT

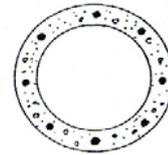
- PILOTES** {
- Hincados prefabricados (de desplazamiento)
  - Ejecutados “in situ” (de desplazamiento o de extracción)

### HINCADOS PREFABRICADOS

- De hormigón armado o pretensado



Pilotes de hormigón armado



Pilote de hormigón pretensado

Fuente: Rodríguez *et al*, 1982

- Deben ir fuertemente armados para resistir los esfuerzos durante el transporte, izado e hinca
- La hinca se hace por golpeo, por vibración o presión
- Efectos de la hinca: Perturbaciones ambientales (vibraciones, ruidos), incremento de presiones en arcillas, densificación en arenas sueltas, reblandecimiento en densas, etc.

### EJECUTADOS “IN SITU”

#### CLASIFICACIÓN NTE – CPI (Cimentaciones Pilotes In situ)

- **PILOTES DE DESPLAZAMIENTO**
  - CPI-2 ⇒ Con azuche (punta metálica o de h.a.)
  - CPI-3 ⇒ Con tapón de gravas
- **PILOTES DE EXTRACCIÓN PERFORADOS**
  - CPI-4 ⇒ Con entubación recuperable
  - CPI-5 ⇒ Con camisa (entubación) perdida
  - CPI-6 ⇒ Sin entubación y con lodos tixotrópicos
- **PILOTES DE EXTRACCIÓN BARRENADOS**
  - CPI-7 ⇒ Sin entubación
  - CPI-8 ⇒ Hormigonando por el tubo central de la barrena

- I. Generalidades
- II. Tipos de pilotes
- III. Criterios de elección de pilotes
- IV. Cálculo de cargas y esfuerzos en los pilotes
- V. Cálculo geotécnicos
  - V.1 Carga de hundimiento del pilote aislado
  - V.2 Carga de hundimiento de un grupo de pilotes
  - V.3 Asientos de pilotes y grupos de pilotes
  - V.4 Pilotes sometidos a solicitaciones especiales
- VI. Cálculos estructurales
  - VI.1 Dimensionado estructural del pilote
  - VI.2 Dimensionado de elementos auxiliares
- VII. Zonas sísmicas

## ELECCIÓN DEL PILOTAJE IN SITU (NTE – CPI)

Terreno de cimentación		Puntuación							
Relación entre P y F	$P > 3F$	Estrato de apoyo. Roca sana masiva 10-20 o diaclasada a profundidad, en m, 20-40 entre	3	1	4	3	2	3	2
			2	0	3	3	2	2	1
		Estrato de apoyo. Coherente de consistencia dura a profundidad, en m, 20-40 entre	3	3	3	3	2	4	3
		2	2	2	2	2	3	2	
		Estrato de apoyo. Granular de gravas 10-20 o arenas compactas a profundidad, 20-40 en m, entre	4	4	2	3	2	2	3
		3	3	2	2	2	2	2	
	$P \leq 3F$	Estrato coherente de consistencia media prácticamente homogéneo en profundidad	2	2	2	2	2	2	2
		Estrato coherente de consistencia firme o muy firme prácticamente homogéneo en profundidad	2	2	4	1	3	5	4
		Estratos alternados coherentes medios y granulares sueltos en profundidad	3	4	2	3	2	2	3
		Estrato granular de gravas finas o arenas sueltas en profundidad	3	5	1	2	1	NO	1
Estrato granular de gravas en profundidad		2	3	3	2	2	2	3	
<b>Atraviesa antes de llegar a las capas portantes o en las mismas</b>									
Capas de gravas sin cementar, capas finas de areniscas, etc. bolos pequeños		-1,5	-1,0	+1,0	+1,0	+0,5	+0,5	+0,5	
Bolos grandes, cimientos antiguos, gravas cementadas		NO	NO	+1,5	+1,5	+0,5	NO	NO	
Capas de terreno granular fino en presencia de agua		-1,5	-1,0	-1,5	+0,5	-1,5	-2,0	-1,5	
Flujo de agua en el terreno		-2,0	-1,5	-2,0	0,0	-2,0	NO	-2,0	
Medio agresivo para el hormigón fresco		-2,0	-1,5	-2,5	0,0	-2,0	-2,5	-2,0	
<b>Carga media por pilar de la estructura, en t</b>									
0-200		+0,5	+0,5	+1,0	+1,0	+0,5	0,0	+0,5	
200-500		0,0	0,0	+0,5	+0,5	0,0	+0,5	0,0	
<b>Número de pilares del edificio</b>									
< 20		-1,0	-1,0	+2,0	+1,0	+0,5	+0,5	+1,0	
20-100		0,0	0,0	+1,0	+0,5	0,0	+0,5	+0,5	
> 100		+0,5	-0,5	0,0	0,0	-0,5	+1,0	0,0	
		CPI-2	CPI-3	CPI-4	CPI-5	CPI-6	CPI-7	CPI-8	

## ELECCIÓN DEL PILOTAJE IN SITU (NTE – CPI)

### EJEMPLO

Elegir el pilotaje in situ más adecuado para realizar la cimentación de una grúa torre para la construcción de un edificio en el centro de una ciudad. Los esfuerzos máximos transmitidos son:

$$N = 18 \text{ t} ; M = 75 \text{ mt} \text{ y } Q = 5 \text{ t}$$

El corte estratigráfico del estudio geotécnico refleja la siguiente distribución de capas en el terreno:

Nivel	Terreno	Cotas (m)
I	Rellenos	0 – 4
II	Sedimentos orgánicos (arcillas y limos)	4 – 10
III	Sedimentos orgánicos (arenas con conchas)	10 – 16
IV	Sedimentos inorgánicos (gravas arenosas)	16 – 22

El n.f. se encuentra a 6 m de profundidad.

## ELECCIÓN DEL PILOTAJE IN SITU (NTE – CPI)

Terreno de cimentación		Puntuación								
Relación entre P y F	$P > 3F$	Estrato de apoyo. Roca sana masiva 10-20 o diaclasada a profundidad, en m, 20-40 entre	3	1	4	3	2	3	2	
			2	0	3	3	2	2	1	
		Estrato de apoyo. Coherente de consistencia dura a profundidad, en m, 20-40 entre		3	3	3	3	2	4	3
				2	2	2	2	2	3	2
		Estrato de apoyo. Granular de gravas 10-20 o arenas compactas a profundidad, 20-40 en m, entre		4	4	2	3	2	2	3
				3	3	2	2	2	2	2
	$P \leq 3F$	Estrato coherente de consistencia media prácticamente homogéneo en profundidad		2	2	2	2	2	2	2
				2	2	4	1	3	5	4
				3	4	2	3	2	2	3
				3	5	1	2	1	NO	1
			2	3	3	2	2	2	3	
<b>Atraviesa antes de llegar a las capas portantes o en las mismas</b>										
Capas de gravas sin cementar, capas finas de areniscas, etc. bolos pequeños		-1,5	-1,0	+1,0	+1,0	+0,5	+0,5	+0,5		
Bolos grandes, cimientos antiguos, gravas cementadas		NO	NO	+1,5	+1,5	+0,5	NO	NO		
Capas de terreno granular fino en presencia de agua		-1,5	-1,0	-1,5	+0,5	-1,5	-2,0	-1,5		
Flujo de agua en el terreno		-2,0	-1,5	-2,0	0,0	-2,0	NO	-2,0		
Medio agresivo para el hormigón fresco		-2,0	-1,5	-2,5	0,0	-2,0	-2,5	-2,0		
Carga media por pilar de la estructura, en t	0-200	+0,5	+0,5	+1,0	+1,0	+0,5	0,0	+0,5		
	200-500	0,0	0,0	+0,5	+0,5	0,0	+0,5	0,0		
Número de pilares del edificio	< 20	-1,0	-1,0	+2,0	+1,0	+0,5	+0,5	+1,0		
	20-100	0,0	0,0	+1,0	+0,5	0,0	+0,5	+0,5		
	> 100	+0,5	-0,5	0,0	0,0	-0,5	+1,0	0,0		
		CPI-2	CPI-3	CPI-4	CPI-5	CPI-6	CPI-7	CPI-8		

### EJEMPLO. RESULTADOS

$$\text{CPI-2} = 4 - 1,5 + 0,5 - 1,0 = 2,0$$

$$\text{CPI-3} = 4 - 1,0 + 0,5 - 1,0 = 2,5$$

$$\text{CPI-4} = 2 - 1,5 + 1,0 + 2,0 = 3,5$$

$$\text{CPI-5} = 3 + 0,5 + 1,0 + 1,0 = 5,5$$

$$\text{CPI-6} = 2 - 1,5 + 0,5 + 0,5 = 1,5$$

$$\text{CPI-7} = 2 - 2,0 + 0,0 + 0,5 = 0,5$$

$$\text{CPI-8} = 3 - 1,5 + 0,5 + 1,0 = 3,0$$

Pilotaje recomendable:

- 1) CPI-5 (Pilotes de extracción con camisa perdida)
- 2) CPI-4 (Pilotes de extracción con entubación recuperable)
- 3) CPI-8 (Pilotes barrenados. Hormigonado por tubo central de barrena)

CONSTRUCCIÓN  
EN HORMIGÓN  
1º curso Máster  
Ing. de Caminos

LECCIÓN 22

CIMENTACIONES PROFUNDAS

13

A. TOMÁS – Área Ingeniería de la Construcción – Dpto. de Ingeniería Minera y Civil – UPCT

## ÍNDICE

- I. Generalidades
- II. Tipos de pilotes
- III. Criterios de elección de pilotes
- IV. Cálculo de cargas y esfuerzos en los pilotes
- V. Cálculo geotécnicos
  - V.1 Carga de hundimiento del pilote aislado
  - V.2 Carga de hundimiento de un grupo de pilotes
  - V.3 Asientos de pilotes y grupos de pilotes
  - V.4 Pilotes sometidos a solicitaciones especiales
- VI. Cálculos estructurales
  - VI.1 Dimensionado estructural del pilote
  - VI.2 Dimensionado de elementos auxiliares
- VII. Zonas sísmicas

CONSTRUCCIÓN  
EN HORMIGÓN  
1º curso Máster  
Ing. de Caminos

LECCIÓN 22

CIMENTACIONES PROFUNDAS

14

A. TOMÁS – Área Ingeniería de la Construcción – Dpto. de Ingeniería Minera y Civil – UPCT

### 1º) CÁLCULO DE CARGAS Y ESFUERZOS EN LOS ELEMENTOS DE LA CIMENTACIÓN

### 2º) CÁLCULOS GEOTÉCNICOS

- Carga de hundimiento del pilote aislado
- Carga de hundimiento de un grupo de pilotes
- Asientos de pilotes y grupos de pilotes
- Pilotes sometidos a sollicitaciones especiales

### 3º) CÁLCULOS ESTRUCTURALES

- Dimensionamiento estructural del pilote
- Dimensionamiento de los elementos auxiliares (encepados, vigas riostras, etc.)

### CÁLCULOS GEOTÉCNICOS (carga admisible y asiento)

#### Se combinan las siguientes acciones SIN MAYORAR:

- Acciones transmitidas por el encepado (acciones de la estructura, peso del terreno sobre el encepado y peso propio del encepado).
- Peso propio del pilote.
- Rozamiento negativo, en su caso.

### CÁLCULOS ESTRUCTURALES (comprobación ELU)

#### Se combinan las siguientes acciones MAYORADAS:

- Acciones transmitidas por el encepado (acciones de la estructura, peso del terreno sobre el encepado y peso propio del encepado):
  - Axiles (esfuerzos o cargas principales)
  - Cortantes y Momentos (esf. secundarios, en gral. despreciables)
- Rozamiento negativo, en su caso.
- En el cálculo de encepados, sólo se tienen en cuenta las acciones transmitidas por la estructura

## MÉTODOS DE DETERMINACIÓN DE ESFUERZOS

### I. DESCOMPOSICIÓN ESTÁTICA DE FUERZAS

- Ignorar la presencia del terreno
- Pilotes biarticulados
- Descomposición estática de las acciones exteriores según las direcciones de los pilotes

### II. PÓRTICO EQUIVALENTE

- Sustitución de las reacciones horizontales del terreno sobre los pilotes por un empotramiento ficticio a una cierta profundidad
- Determinación de esfuerzos en el pórtico resultante (normalmente mediante un programa de cálculo de estructuras)

### III. MODELIZACIÓN TERRENO (MEDIO ELÁSTICO CONTINUO)

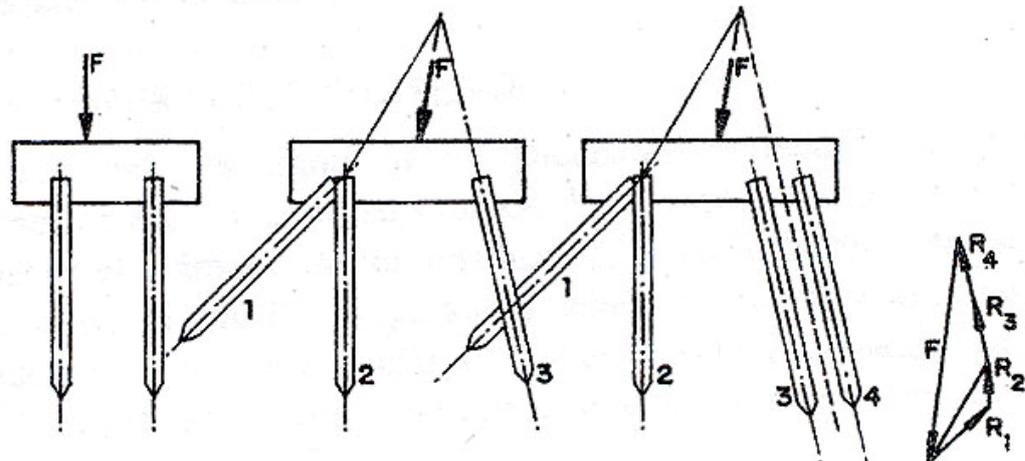
- Suponer los pilotes embebidos en un medio elástico continuo
- Aplicación de las condiciones de equilibrio y compatibilidad de deformaciones (resolución mediante MEF)

### IV. NTE (CARGA AXIL EQUIVALENTE)

Obtención de una carga axil equivalente  $E$  a partir de un momento equivalente  $M = M(M_x, M_y)$ , del diámetro y de la carga axil

## DESCOMPOSICIÓN ESTÁTICA DE FUERZAS

### PILOTAJE ISOSTÁTICO



Fuente: Arroyo et al, 2018

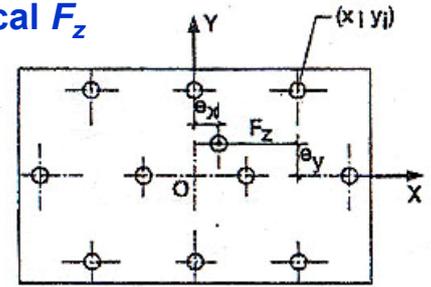
## CÁLCULO DE CARGAS Y ESFUERZOS EN LOS PILOTES

### DESCOMPOSICIÓN ESTÁTICA DE FUERZAS

#### PILOTAJE HIPERESTÁTICO. Carga vertical $F_z$

Hip.: Pilotes iguales en sección y longitud

$$R_{iz} = F_z \left( \frac{1}{n} + \frac{e_x x_i}{I_y} + \frac{e_y y_i}{I_x} \right)$$



a) Fuerza y pilotes verticales

- $R_{iz}$  = carga en un pilote cualquiera, producida por la carga vertical  $F_z$
- $F_z$  = carga vertical total (incluyendo el peso del encepado)
- $e_x, e_y$  = excentricidades de dicha carga
- $I_x = \sum y_i^2$  = mom. inercia del pilotaje resp. eje OX que pasa por el c.d.g.
- $I_y = \sum x_i^2$  = mom. inercia del pilotaje resp. eje OY
- $n$  = nº pilotes verticales iguales

Si  $R_{iz} < 0$  (tracción), se admite si  $R_{iz} < \text{Peso pilote}$ , si no, aumentar la inercia del grupo ( $\uparrow \sum y_i^2$  ó  $\sum x_i^2$ ) separando más los pilotes. Aunque a veces, se busca el trabajo a tracción del pilote.

## CÁLCULO DE CARGAS Y ESFUERZOS EN LOS PILOTES

### DESCOMPOSICIÓN ESTÁTICA DE FUERZAS

#### PILOTAJE HIPERESTÁTICO. Carga horizontal $F_\alpha$

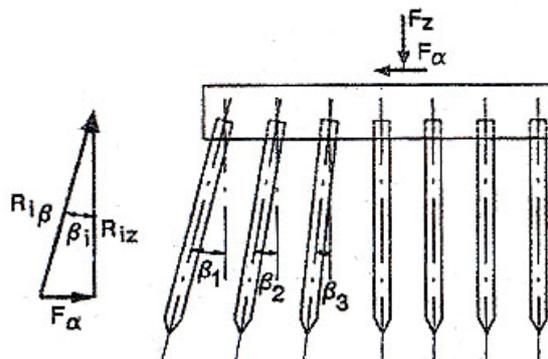
Se puede inclinar algunos pilotes un ángulo  $\beta_i$ , cumpliéndose:

$$F_\alpha = \sum (R_{iz} \operatorname{tg} \beta_i)$$

( $R_{iz}$  se ha obtenido anteriormente)

Por tanto, los pilotes inclinados incrementarán sus esfuerzos axiales:

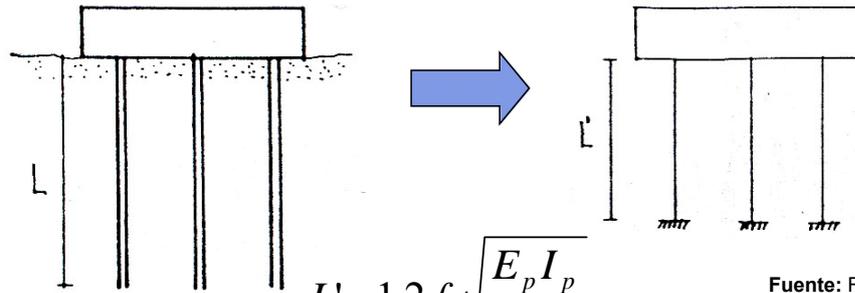
$$R_{i\beta} = R_{iz} / \cos \beta_i$$



b) Fuerza y pilotes inclinados

## PÓRTICO EQUIVALENTE

- Pilotes empotrados en cabeza
- A partir de una cierta profundidad, los giros y desplazamientos son despreciables  $\Rightarrow$  Empotramiento
- El terreno que rodea los pilotes ofrece resistencia a su desplazam. horizontal, por lo que éstos se deforman como si tuvieran una longitud de flexión  $L'$  inferior a la real (Oteo, 1973)



$$L' = 1,2 f \sqrt[4]{\frac{E_p I_p}{E_0 / 3}}$$

Fuente: Rodríguez *et al*, 1982

$E_p I_p$  = rigidez del pilote

$E_0$  = mód. terreno en cabeza del pilote

$E_1$  = mód. terreno en la punta del pilote

$E_0/E_1$	0,0	0,5	1,0
$f$	1,70	1,25	1,00

## ÍNDICE

- I. Generalidades
- II. Tipos de pilotes
- III. Criterios de elección de pilotes
- IV. Cálculo de cargas y esfuerzos en los pilotes
- V. Cálculo geotécnicos
  - V.1 Carga de hundimiento del pilote aislado
  - V.2 Carga de hundimiento de un grupo de pilotes
  - V.3 Asientos de pilotes y grupos de pilotes
  - V.4 Pilotes sometidos a solicitaciones especiales
- VI. Cálculos estructurales
  - VI.1 Dimensionado estructural del pilote
  - VI.2 Dimensionado de elementos auxiliares
- VII. Zonas sísmicas

## PREDIMENSIONADO (ANTEPROYECTO)

CONSTRUCCIÓN EN HORMIGÓN  
1º curso Máster  
Ing. de Caminos

LECCIÓN 22

CIMENTACIONES PROFUNDAS

- Tensiones nominales de trabajo o tensiones de servicio  $\sigma$ :
  - Madera 4,5 MPa (45 kp/cm<sup>2</sup>)
  - Prefabricados 7 - 10 MPa (70 - 100 kp/cm<sup>2</sup>)
  - Horm. in situ, en seco 3,5 - 4 MPa (35 - 40 kp/cm<sup>2</sup>)
  - Horm. in situ, bajo agua 3 - 3,5 MPa (30 - 35 kp/cm<sup>2</sup>)
- Resistencia de un pilote  $R = A\sigma [\times 10^{-3}]$  [t]
  - A área de la sección transversal del pilote [cm<sup>2</sup>]
  - $\sigma$  tensión de servicio [kp/cm<sup>2</sup>]
- Número de pilotes  $n = N_k / R$ 
  - $N_k$  axil característico del pilar [t]
  - R resistencia de un pilote [t]

## PREDIMENSIONADO. NTE – CPI (Cimentaciones Pilotes In situ)

CONSTRUCCIÓN EN HORMIGÓN  
1º curso Máster  
Ing. de Caminos

LECCIÓN 22

CIMENTACIONES PROFUNDAS

Número de pilotes n	Carga axil Q, en t															
	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	350	400	450	500	550
1								100	100	100	100	125	125	125	125	
2	30	35	45	55	55	55	65	65	65	85	85	85	85	100	100	100
3	30	30	35	45	45	45	55	55	55	65	65	65	85	85	85	85
4	30	30	35	45	45	45	45	55	55	55	55	65	65	65	65	85

**Diámetro D, en cm**

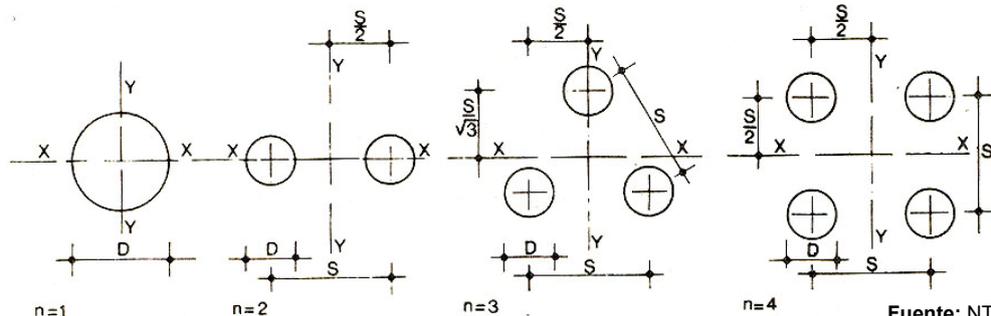
Capacidad de soportar momentos:

$$n = 1 \Rightarrow M_x = M_y = 0$$

$$n = 2 \Rightarrow M_x = 0 ; M_y \neq 0$$

$$n = 3 \Rightarrow M_x \geq 1,75M_y$$

$$n = 4 \Rightarrow M_x \neq 0 ; M_y \neq 0$$



Fuente: NTE-CPI, 1977

## CARGA AXIL EQUIVALENTE E (NTE – CPI)

Diámetro D, en cm	Momento equivalente M, en mt										
	30	35	45	55	65	85	100	150	200	250	300
30	0	1,5	3,0	4,5	6,0	7,5	9,0	10,5	12,0	13,5	15,0
35	0	1,7	3,5	5,2	7,0	8,7	10,5	12,2	14,0	15,7	17,5
45	0	2,2	4,5	6,7	9,0	11,2	13,5	15,7	18,0	20,2	22,5
55	0	2,7	5,5	8,2	11,0	13,7	16,5	19,2	22,0	24,7	27,5
65	0	3,2	6,5	9,7	13,0	16,2	19,5	22,7	26,0	29,2	32,5
85	0	4,2	8,5	12,7	17,0	21,2	25,5	29,7	34,0	38,5	42,5
100	0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0
50	50	55	60								
75	75	80	85	90							
100	100	105	110	115	120						
125	125	130	135	140	145	150					
150	150	155	160	165	170	175	180				
175	175	180	185	190	195	200	205	210			
200	200	205	210	215	220	225	230	235	240		
225	225	230	235	240	245	250	255	260	265	270	
250	250	255	260	265	270	275	280	285	290	295	300
275	275	280	285	290	295	300	305	310	315	320	325
300	300	305	310	315	320	325	330	335	340	345	350
350	350	355	360	365	370	375	380	385	390	395	400
400	400	405	410	415	420	425	430	435	440	445	450
450	450	455	460	465	470	475	480	485	490	495	500
500	500	505	510	515	520	525	530	535	540	545	550
550	550	555	560	565	570	575	580	585	590	595	

Carga axil equivalente E, en t

Valor de M:

$$n = 2 \Rightarrow M = M_y$$

$$n = 3 \Rightarrow M = 1,75M_x$$

$$n = 4 \Rightarrow M = M_x + M_y$$

## PREDIMENSIONADO.

### NTE – CPP (Cimentaciones Pilotes Prefabricados)

Número de pilotes n	Carga axil Q, en t												
	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	350	400
1	32,5	37,5	42,5	42,5									
2	22,5	27,5	32,5	35,0	40,0	40,0	42,5						
3	22,5	22,5	25,0	30,0	32,5	35,0	37,5	40,0	40,0	42,5	42,5		
4	22,5	22,5	22,5	25,0	27,5	30,0	32,5	32,5	35,0	37,5	37,5	40,0	42,5

Diámetro equivalente D, en cm

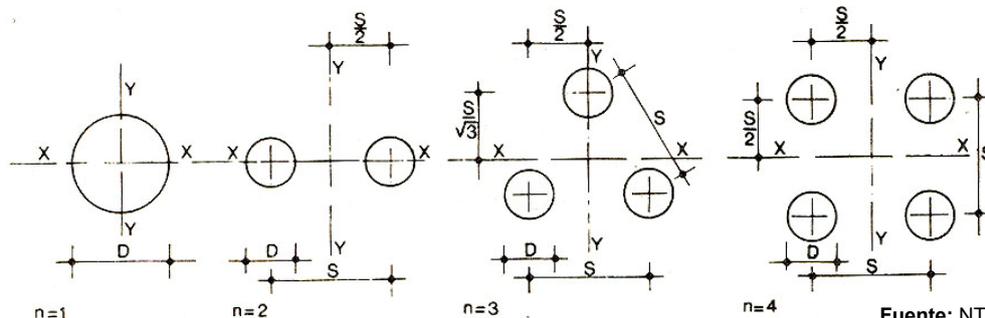
Capacidad de soportar momentos:

$$n = 1 \Rightarrow M_x = M_y = 0$$

$$n = 2 \Rightarrow M_x = 0 ; M_y \neq 0$$

$$n = 3 \Rightarrow M_x \geq 1,75M_y$$

$$n = 4 \Rightarrow M_x \neq 0 ; M_y \neq 0$$



Fuente: NTE-CPP, 1978

### CARGA AXIL EQUIVALENTE E (NTE – CPP)

		Momento equivalente M, en mt															
Diámetro equivalente D, en cm	≤ 30	0	1,5	3,0	4,5	6,0	7,5	9,0	10,5	12,0	13,5	15,0	16,5	18,0	21,0	24,0	
	32,5	0	1,6	3,2	4,8	6,5	8,1	9,7	11,3	12,0	14,6	16,2	17,8	19,5	22,7	26,0	
	35	0	1,7	3,5	5,2	7,0	8,7	10,5	12,2	14,0	15,7	17,5	19,2	21,0	24,5	28,0	
	37,5	0	1,8	3,7	5,6	7,5	9,3	11,2	13,1	15,0	16,8	18,7	20,6	22,5	26,2	30,0	
	40	0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0	22,0	24,0	28,0	32,0	
	42,5	0	2,1	4,2	6,3	8,5	10,6	12,7	14,8	17,0	19,1	21,2	23,3	25,5	29,7	34,0	
		<b>Valor de M:</b>															
		$n = 2 \Rightarrow M = M_y$															
		$n = 3 \Rightarrow M = 1,75M_x$															
		$n = 4 \Rightarrow M = M_x + M_y$															
Carga axil Q, en t	50	50	55	60													
	75	75	80	85	90												
	100	100	105	110	115	120											
	125	125	130	135	140	145	150										
	150	150	155	160	165	170	175	180									
	175	175	180	185	190	195	200	205	210								
	200	200	205	210	215	220	225	230	235	240							
	225	225	230	235	240	245	250	255	260	265	270						
	250	250	255	260	265	270	275	280	285	290	295	300					
	275	275	280	285	290	295	300	305	310	315	320	325	330				
	300	300	305	310	315	320	325	330	335	340	345	350	355	360			
	350	350	355	360	365	370	375	380	385	390	395	400	405	410	420		
400	400	405	410	415	420	425	430	435	440	445	450	455	460	470	480		
450	450	455	460	465	470	475	480	485	490	495	500	505	510	520	530		
500	500	505	510	515	520	525	530	535	540	545	550	555	560	570	580		
550	550	555	560	565	570	575	580	585	590	595							
		<b>Carga axil equivalente E, en t</b>															

27

A. TOMÁS – Área Ingeniería de la Construcción – Dpto. de Ingeniería Minera y Civil – UPCT

### COMPROBACIÓN DEL PILOTE

- Comprobación análoga a la de un pilar a compresión centrada, pues la coacción del terreno impide, al menos parcialmente, el pandeo:

$$N_d \leq N_u = 0,85 f_{cd} A_c + A_s f_{yd}$$

$N_d$  esfuerzo axil de cálculo

$N_u$  esfuerzo axil de agotamiento

$f_{cd}$  =  $f_{ck}/\gamma_c$  resistencia de cálculo del hormigón

$A_c$  área de la sección del pilote

$A_s$  área de la sección de la armadura longitudinal

$f_{yd}$  =  $f_{yk}/\gamma_s$  resistencia de cálculo de la armadura longitudinal

- Excentricidad mínima:  $\varnothing/20$  y 2 cm
- Pilotes ejecutados in situ sin camisa de chapa:
  - Es aconsejable aumentar  $\gamma_c$  (EC-2 establece  $\gamma_c = 1,65$ )
  - EHE-08 propone calcular  $A_c$  con un diámetro inferior:

$$\varnothing_{nom} - 50 \text{ mm} \leq \varnothing_{cál} = 0,95\varnothing_{nom} \leq \varnothing_{nom} - 20 \text{ mm}$$

28

A. TOMÁS – Área Ingeniería de la Construcción – Dpto. de Ingeniería Minera y Civil – UPCT

## COMPROBACIÓN DEL PILOTE

- **Resistencia característica del hormigón**

- Pilotes in situ  $f_{ck} \geq 25 \text{ MPa}$

- Pilotes prefabricados  $f_{ck} \geq 40 \text{ MPa}$

- **Resistencia de cálculo de la armadura**

Al ser el acortamiento máximo en compresión de 0,002  $\Rightarrow$

$$\Rightarrow f_{yd} \leq 0,002 E_s = 0,002 \cdot 2 \cdot 10^5 = 400 \text{ MPa}$$

- **Cuantía mínima y máxima de la armadura longitudinal**

- Cuantía mecánica mínima:  $A_s f_{yd} \geq 0,1 N_d$

- Cuantía geométrica mínima:  $A_s \geq 4 \text{‰ } A_c$

- Cuantía máxima (se aumenta para facilitar el hormigonado):

$$A_s f_{yd} \leq 0,6 f_{cd} A_c$$

con  $f_{yd} \leq 400 \text{ MPa}$

Cuantía geométrica mínima (EC-2)

$A_c \text{ (m}^2\text{)}$	Armadura
$\leq 0,5$	Cuantía $\geq 0,5 \text{ ‰}$
$(0,5 - 1,0]$	2500 mm <sup>2</sup>
$> 1,0$	Cuantía $\geq 0,25 \text{ ‰}$

## COMPROBACIÓN DEL PILOTE

- **Disposiciones relativas a la armadura**

- $\varnothing_{min} = 12 \text{ mm}$  ; nº barras mín. = 6 ; Sep. entre barras  $\leq 20 \text{ cm}$

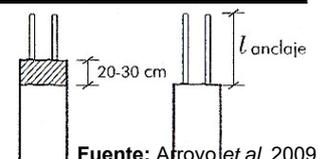
- $\varnothing_{cercos} \geq \varnothing_{long} / 4$  ; Sep. entre cercos  $\leq 15 \varnothing_{long}$  (ver zonas sísmicas)

- Recubrimiento mínimo recomendable: 8 cm

- **Tabla de armado**

nº/Diám.	SECCIÓN DE ARMADURAS LONGITUDINALES (mm <sup>2</sup> )								
	6	8	10	12	14	16	20	25	32
1	28	50	79	113	154	201	314	491	804
2	57	101	157	226	308	402	628	982	1608
3	85	151	236	339	462	603	942	1473	2413
4	113	201	314	452	616	804	1257	1963	3217
5	141	251	393	565	770	1005	1571	2454	4021
6	170	302	471	679	924	1206	1885	2945	4825
7	198	352	550	792	1078	1407	2199	3436	5630
8	226	402	628	905	1232	1608	2513	3927	6434
9	254	452	707	1018	1385	1810	2827	4418	7238
10	283	503	785	1131	1539	2011	3142	4909	8042

- **Recomendación de ejecución:** Hormigonar los pilotes 20-30 cm por encima para picarlos después, pues la calidad de este hormigón es muy deficiente



### ENUNCIADO

Obtener la armadura y el esfuerzo axial de agotamiento que puede soportar un pilote ejecutado "in situ" de 55 cm de diámetro. El hormigón a emplear es HA-30/F/12/Ila+Qa y el acero B 500 S.

#### Cálculos previos:

$$\text{Hormigón} \rightarrow f_{cd} = 30/1,65 = 18,18 \text{ MPa}$$

$$\text{Acero} \rightarrow f_{yd} = 500/1,15 = 434,78 > 400 \Rightarrow f_{yd} = 400 \text{ MPa}$$

#### Armadura:

Cuantía geométrica mínima (EHE-08):

$$A_s \geq 0,004A_c = 0,004 \cdot \pi \cdot 550^2 / 4 = 0,004 \cdot 237583 = 950 \text{ mm}^2 \text{ (5 } \varnothing 16)$$

Cuantía máxima:

$$A_s \leq 0,6f_{cd}A_c/f_{yd} = 0,6 \cdot 18,18 \cdot 237583 / 400 = 6479 \text{ mm}^2$$

Cuantía geométrica mínima (EC-2):

$$A_c = 0,24 < 0,5 \text{ m}^2 \Rightarrow A_s = 0,005A_c = 1188 \text{ mm}^2 \text{ (6}\varnothing 16 \text{ , } 1206 \text{ mm}^2)$$

Cercos:

$$\varnothing_c \geq \varnothing/4 = 16/4 = 4 \text{ mm ; Sep.} \leq 15\varnothing_l = 240 \text{ mm (}\varnothing 8/20 \text{ cm)} \text{ (¿z. sísm.?)}$$

#### Axil de agotamiento:

$$N_d \leq N_u = 0,85f_{cd}A_c + A_s f_{yd}$$

Diámetro de cálculo:

$$\varnothing_{nom} - 50 \text{ mm} \leq \varnothing_{cál} = 0,95 \varnothing_{nom} \leq \varnothing_{nom} - 20 \text{ mm}$$

$$550 - 50 = \underline{500} \text{ mm} \leq \varnothing_{cál} = 0,95 \cdot 550 = \underline{522} \text{ mm} \leq 550 - 20 = \underline{530} \text{ mm}$$

$$A_c = \pi \cdot 522^2 / 4 = 214008 \text{ mm}^2$$

Axil de agotamiento:

$$N_u = 0,85 \cdot 18,18 \cdot 214008 + 1206 \cdot 400 = 3307 + 482 \text{ kN} = \underline{3789} \text{ kN}$$

#### Observación:

Debe considerarse que, en este tipo de piezas, la sección puede estar condicionada por consideraciones geotécnicas, lo cual no permite utilizar plenamente la resistencia característica mínima de 25 MPa.

Por ejemplo, en este caso (real), la carga admisible obtenida, considerando el rozamiento negativo, fue de 627 kN.

## PREDIMENSIONADO

### Datos

Diámetro del pilote ( $D$ )

Diámetro de la armadura del pilar ( $\phi$ )

### Predimensionado de la geometría del encepado

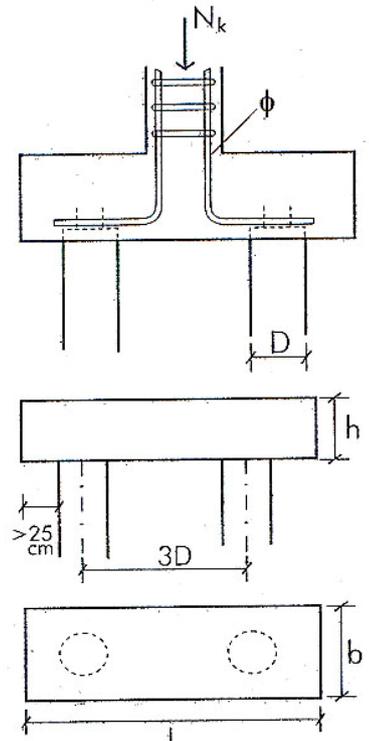
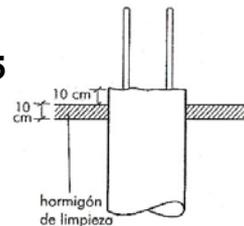
- Dimensiones en planta, a partir de:

Distancia del borde del encepado al pilote más próximo  $\geq 25 \text{ cm}$  y  $\geq D/2$

Distancia intereje de pilotes  $e = 3D$

- Canto  $h \approx e/2 \geq \text{máx}(10\phi^2+20, D, 40) \text{ [cm]}$

- El pilote, una vez descabezado, debe entrar en el encepado 10-15 cm (recubrim. de la armadura, al apoyar ésta en los pilotes)



Ejemplo.  
Encepado de 2 pilotes

Fuente: Arroyo et al, 2009

## MECANISMO RESISTENTE

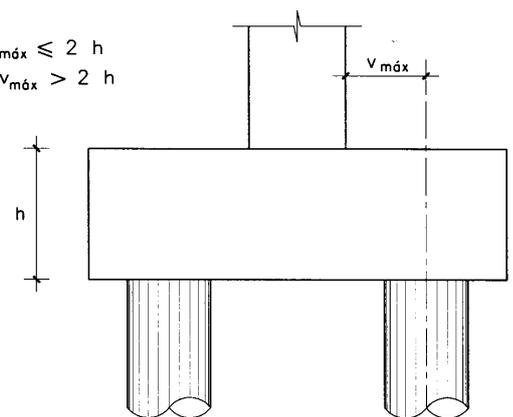
### ENCEPADOS FLEXIBLES

- Vuelo máx.  $> 2h$
- Es aplicable la TEORÍA GENERAL DE LA FLEXIÓN

### ENCEPADOS RÍGIDOS

- Vuelo máx.  $\leq 2h$
- No es aplicable la Teoría General de la Flexión
- Es necesario definir un modelo de BIELAS Y TIRANTES
- No es necesario realizar la comprobación a Cortante y a Punzonamiento

RÍGIDO  $v_{\text{máx}} \leq 2h$   
FLEXIBLE  $v_{\text{máx}} > 2h$



Fuente: EHE-08, 2011

## ENCEPADO RÍGIDO DE DOS PILOTES

### Armadura principal de tracción

$$T_d = \frac{N_d (v + 0,25a)}{0,85d} = A_s f_{yd}$$

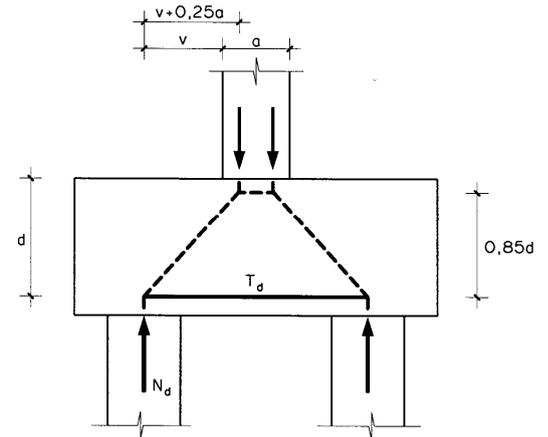
$T_d$  tracción de cálculo que ha de resistir la armadura

$N_d$  esfuerzo axial de cálculo del pilote más cargado

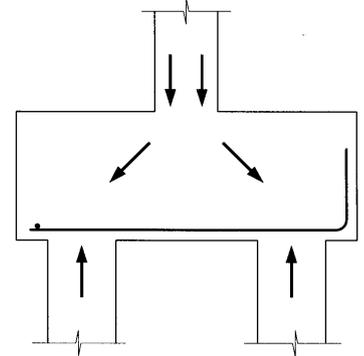
$A_s$  área de la sección de la armadura longitudinal

$f_{yd} \leq 400$  MPa

La armadura se colocará en toda la longitud del encepado, y se anclará, por prolongación recta o en ángulo recto, a partir de planos verticales que pasen por el eje de cada pilote



Fuente: EHE-08, 2011



## ENCEPADO RÍGIDO DE DOS PILOTES

### Armadura secundaria

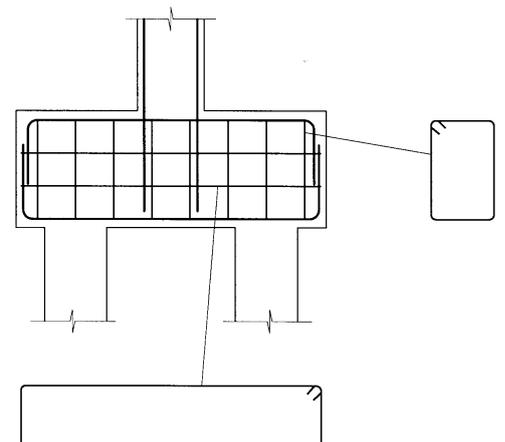
- Armadura longitudinal a lo largo de toda la cara superior
- Armadura horizontal y vertical en retícula en las caras laterales

- Armadura vertical: Cercos que aten a la armad. longitudinal sup. e inf.

- Armadura horizontal: Cercos que aten a la armad. vertical anterior

- Cuantía  $\geq 4 \text{‰} \Omega_{ref}$

$\Omega_{ref}$ : Sección  $\perp$  a cada dirección, de ancho  $\nlessgtr h/2$

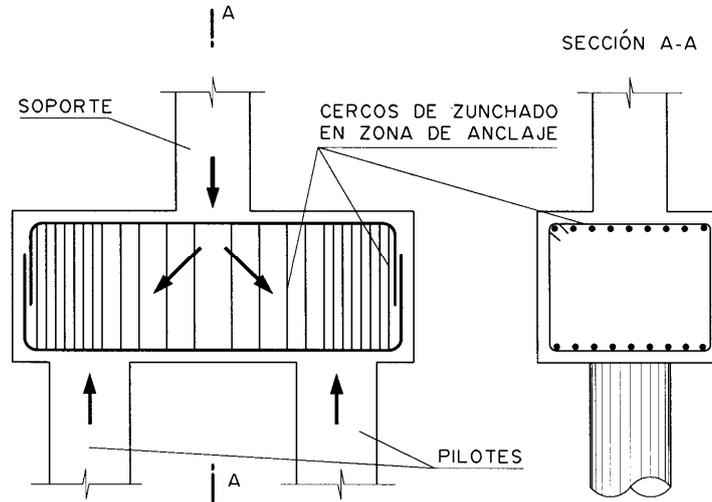


Fuente: EHE-08, 2011

## ENCEPADO RÍGIDO DE DOS PILOTES

### Armadura secundaria

Es conveniente aproximar más los cercos verticales en la zona de anclaje de la armadura principal, a fin de garantizar el zunchado de ésta



Fuente: EHE-08, 2011

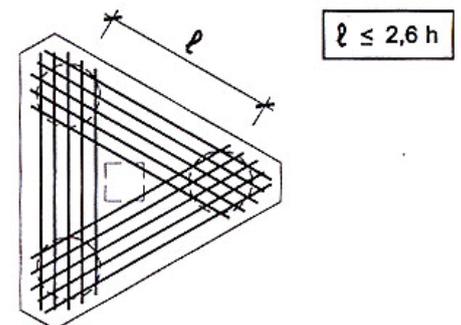
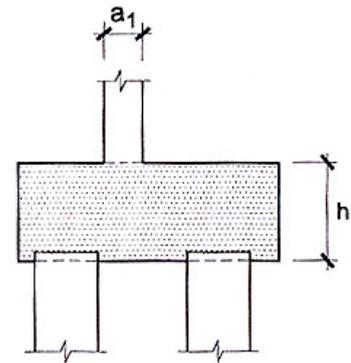
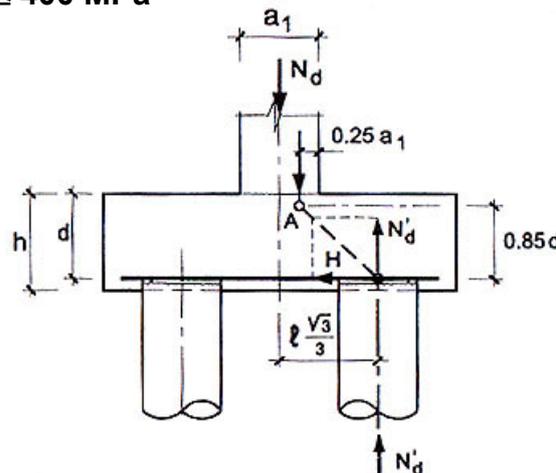
## ENCEPADO RÍGIDO DE TRES PILOTES

### Armadura principal de tracción

$$T_d = 0,68 \frac{N_d}{d} (0,58l - 0,25a_1) = A_s f_{yd}$$

$N_d$  axil de cálculo del pilote más cargado

$$f_{yd} \leq 400 \text{ MPa}$$



Fuente: Arroyo et al, 2018

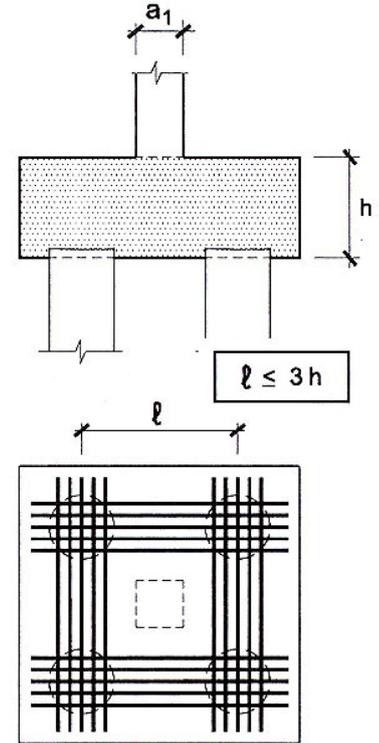
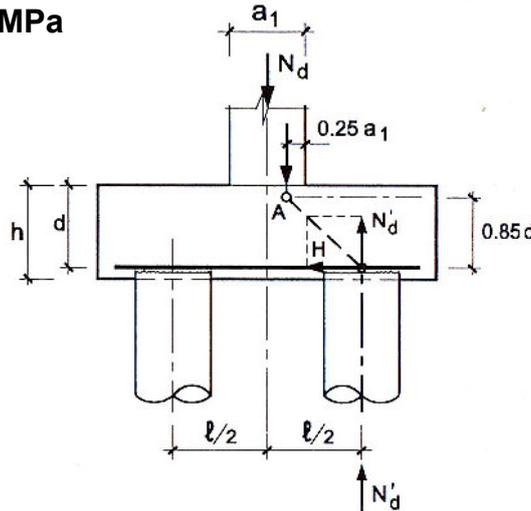
## ENCEPADO RÍGIDO DE CUATRO PILOTES

### Armadura principal de tracción

$$T_d = \frac{N_d (0,5l - 0,25a_1)}{0,85d} = A_s f_{yd}$$

$N_d$  axil de cálculo del pilote más cargado

$f_{yd} \leq 400 \text{ MPa}$



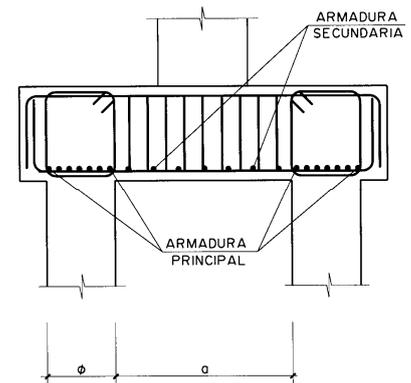
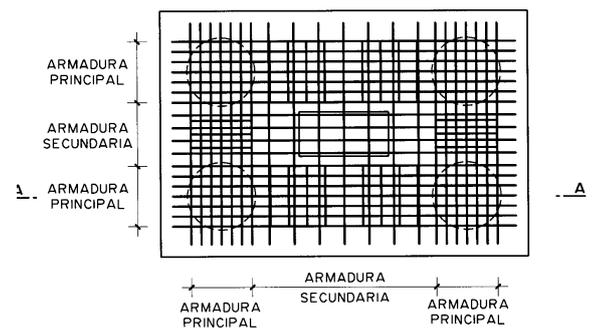
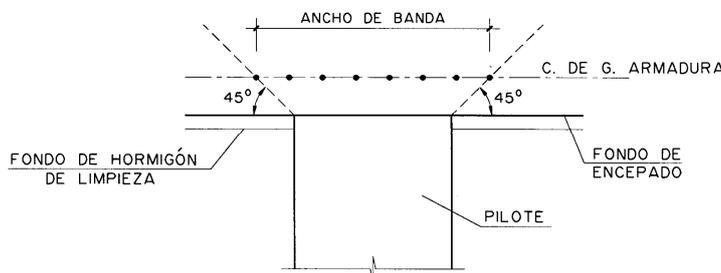
Fuente: Arroyo et al, 2018

## DISPOSICIÓN DE ARMADURA EN ENCEPADOS RÍGIDOS DE MÁS DE DOS PILOTES

- Armadura principal en bandas
- Arm. secundaria entre bandas (1/4 de la principal)
- Armadura secundaria vertical (cercos atando la arm. principal)

$$A_s f_{yd} = N_d / 1,5n \quad \begin{matrix} N_d \text{ axil pilar} \\ n \text{ nº pilotes} \end{matrix}$$

**Banda:** Zona cuyo eje es la línea que une los centros de los pilotes, y cuyo ancho es el  $\varnothing_{pil} + 2$  veces la distancia del fondo del encepado al c.d.g. de la armadura (~20 cm)



Fuente: EHE-08, 2011

SECCIÓN A-A

### ENUNCIADO (Ejemplo 3. Guía de aplicación de la EHE)

Dos pilotes de 55 cm de diámetro armados con 6Ø12 de acero B 400 transmiten la carga de un pilar de 500×500 mm<sup>2</sup>, armado con 8Ø16 y sometido a un esfuerzo axial de cálculo de 2240 kN. Calcular su encepado, con  $f_{ck} = 25$  MPa y acero B 400, sabiendo que la separación entre los ejes de pilotes es de  $3D = 1,65$  m ( $\gamma_c = 1,5$ ,  $\gamma_s = 1,15$ ).

#### Predimensionado de la geometría del encepado

Dist. del borde al pilote  $\geq 25$  ;  $\geq D/2 = 27,5$  cm

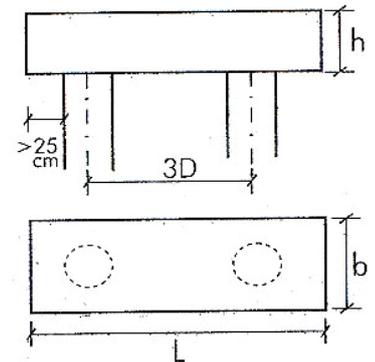
$h \approx e/2 = 165/2 = 82,5$  cm  $\geq \text{máx} (10\phi^2+20, D, 40)$

$h \geq \text{máx} (10 \cdot 1,6^2 + 20, 55, 40) = 55$  cm

$\Rightarrow L = 165 + 55 + 2 \cdot 27,5 = 275$  cm

$b = 55 + 2 \cdot 27,5 = 110$  cm

$h = 90$  cm



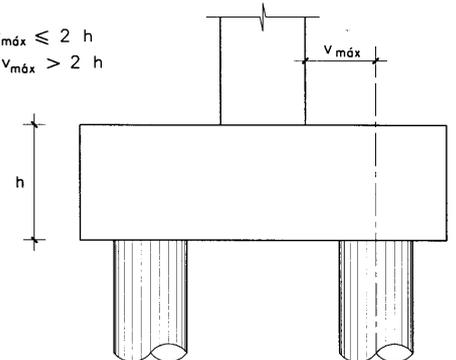
Fuente: Arroyo et al, 2009

#### Clasificación

$v_{max} = (Sep-a)/2 = (165-50)/2 = 57,5$  cm

$2h = 180$  cm  $\Rightarrow v_{max} < 2h$  (Rígido)

RÍGIDO  $v_{máx} \leq 2 h$   
FLEXIBLE  $v_{máx} > 2 h$



Fuente: EHE-08, 2011

#### Cálculos previos

Hormigón  $\rightarrow f_{cd} = 25/1,5 = 16,67$  MPa

Acero  $\rightarrow f_{yd} = 400/1,15 = 347,83$  Mpa

$d' = 100$  (penetración pilote) + 16 (arm. transv.) + 20/2 = 126 ~ 130 mm

#### Armadura principal de tracción

$$T_d = \frac{N_d(v+0,25a)}{0,85d} = A_s f_{yd} = \frac{2240/2(57,5+0,25 \cdot 50)}{0,85 \cdot 77} = 1198 \text{ kN}$$

$$A_s = 1198 \cdot 10^3 / 347,83 = 3444 \text{ mm}^2 \Rightarrow \underline{11\text{Ø}20}$$

### Armadura secundaria

- Armadura longitudinal a lo largo de toda la cara superior

$$A_s / 10 = 3444 / 10 = 344 \text{ mm}^2 \Rightarrow \underline{4\phi 12}$$

- Armadura horizontal y vertical en retícula en las caras laterales

- Cercos verticales

$$A_{tv} = 4 \text{‰} \Omega_{ref} = 0,004 L b = 0,004 \cdot 2750 \cdot 450 = 4950 \text{ mm}^2 \Rightarrow \underline{13 \text{ c. } \phi 16}$$

(Como  $b = 1100 > h/2 = 450 \Rightarrow$

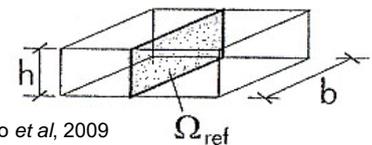
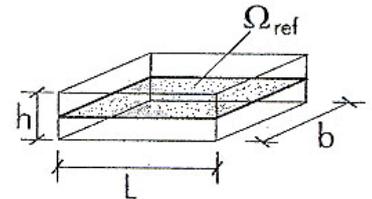
$\Rightarrow b$  se toma  $= h/2 = 450 \text{ mm}$ )

- Cercos horizontales

$$A_{th} = 4 \text{‰} \Omega_{ref} = 0,004 h b = 0,004 \cdot 900 \cdot 450 = 1620 \text{ mm}^2 \Rightarrow \underline{4 \text{ c. } \phi 16^*}$$

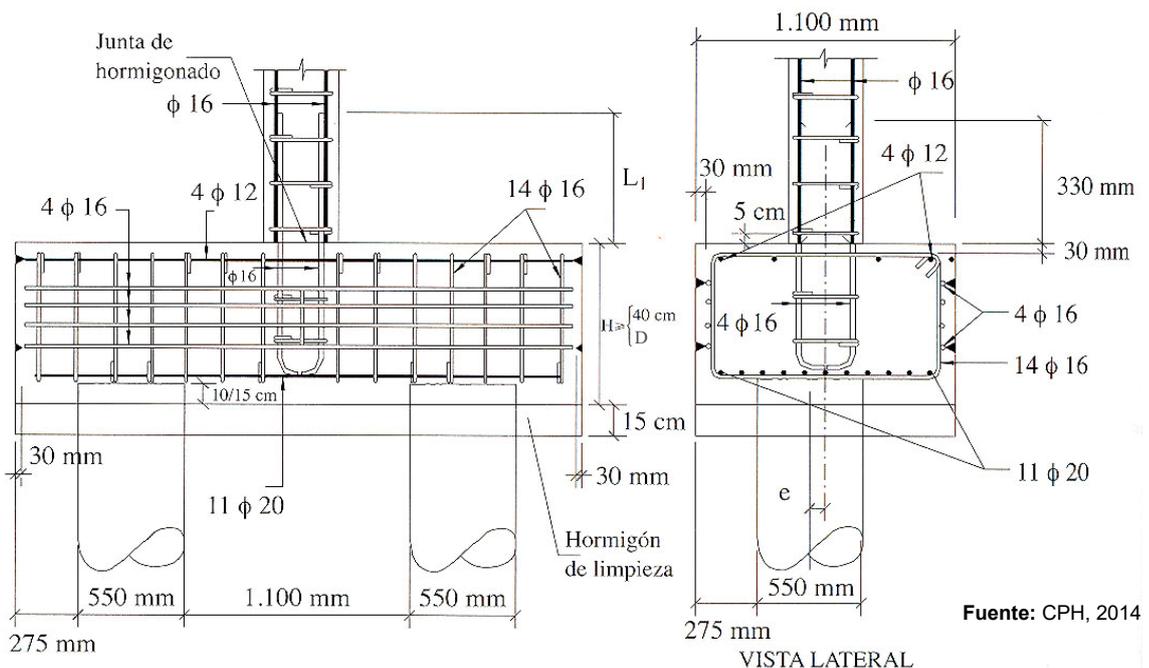
(Como  $b = 1100 > h/2 = 450 \Rightarrow b = 450 \text{ mm}$ )

\* = 1608 mm<sup>2</sup>, diferencia < 1 %  $\rightarrow$  se acepta



Fuente: Arroyo et al, 2009

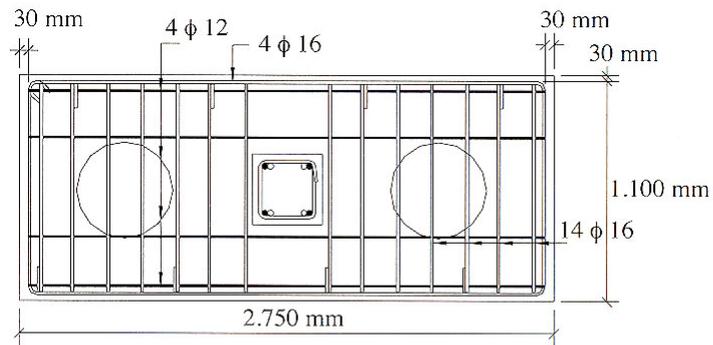
### Croquis de armado (I)



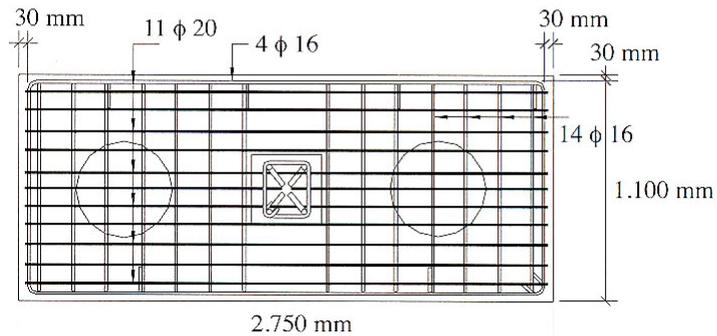
Fuente: CPH, 2014

Aunque se ha obtenido 13 c.  $\phi 16$  como armadura secundaria vertical, se disponen 14 c.  $\phi 16$  para respetar la simetría en el armado

## Croquis de armado (II)



ARMADURA DE CARA SUPERIOR

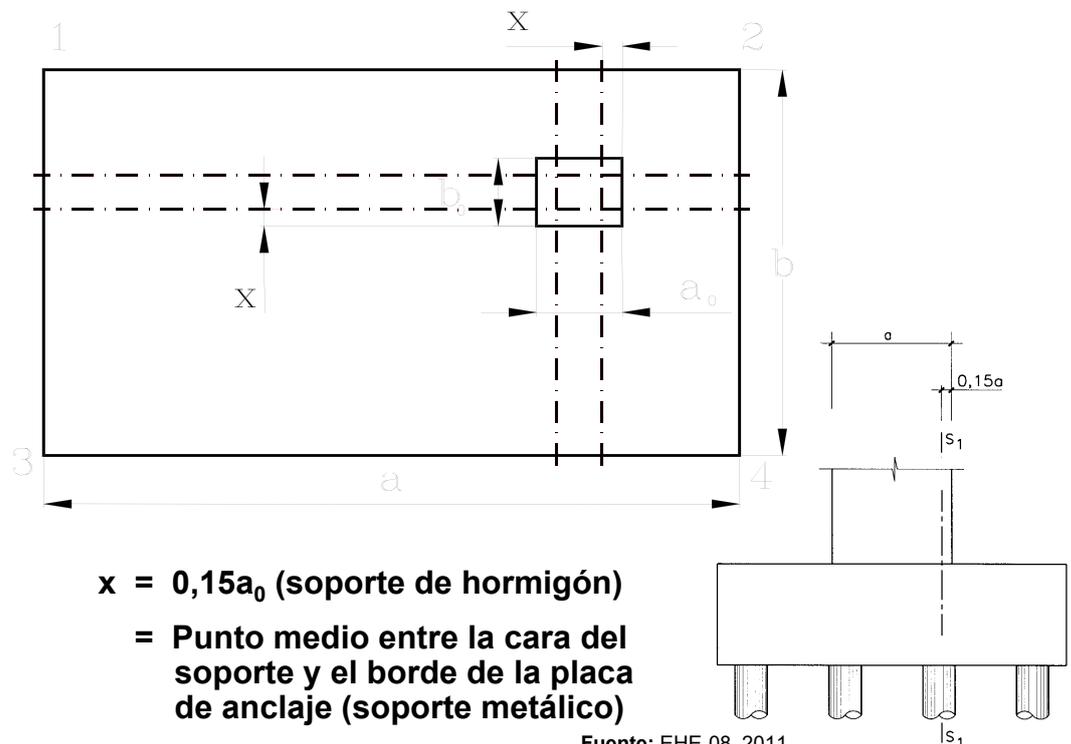


ARMADURA DE CARA INFERIOR

Fuente: CPH, 2014

## CÁLCULO A FLEXIÓN

Secciones  $S_1$  (donde se calculará el mom. flector mayorado)



$x = 0,15a_0$  (soporte de hormigón)  
= Punto medio entre la cara del soporte y el borde de la placa de anclaje (soporte metálico)

Fuente: EHE-08, 2011

## DETERMINACIÓN DE LA ARMADURA DE FLEXIÓN

### Armadura resistente

- $M_d \leq 0,375U_0d$        $U_{s1} = U_0 \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2M_d}{U_0d}} \right)$  con  $U_0 = f_{cd}bd$

- $M_d > 0,375U_0d$        $U_{s2} = \frac{M_d - 0,375U_0d}{d - d'}$   
 $U_{s1} = 0,5U_0 + U_{s2}$

### Armadura mínima (para todos los tipos - rígidas y flexibles -)

- **Cuantía mecánica mínima:**

$$A_s \geq 0,04 A_c \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \text{ con } A_c = \text{área sección hormigón}$$

admitiéndose la reducción  $\alpha = 1,5 - 12,5 \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}} \geq 1$

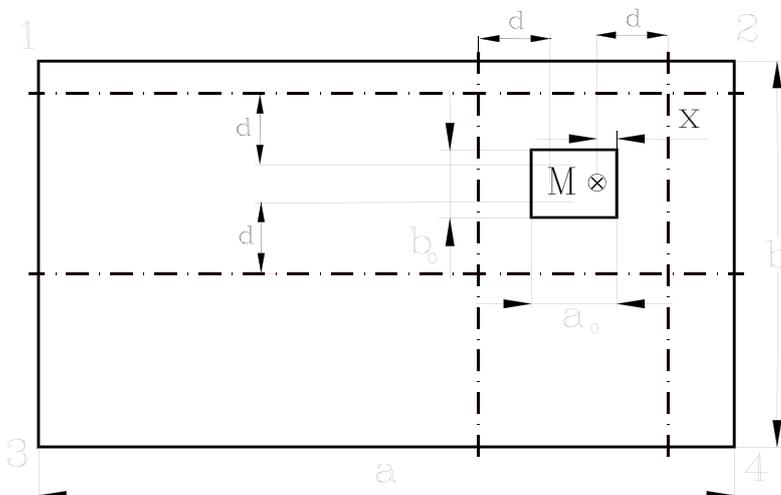
- **Cuantía geométrica mínima:**

Armadura dispuesta en la cara inferior en cada dirección

	Tipo Acero	
	B 400 S	B 500 S
<b>Armadura mínima</b>	0,001A <sub>c</sub>	0,0009A <sub>c</sub>

## CÁLCULO A CORTANTE

### Secciones S<sub>2</sub> (donde se calculará el cortante mayorado)



$x = 0$  (soporte de hormigón)

= distancia del borde de la placa de anclaje al punto M (sop. metálico)

M = Punto medio entre la cara del soporte y el borde de la placa anclaje

### COMPROBACIÓN DE CORTANTE

$$V_d \leq V_{u2} = [(0,18/\gamma_c) \xi (100\rho_1 f_{cv})^{1/3}]bd \geq [(0,075/\gamma_c) \xi^{3/2} f_{cv}^{1/2}]bd$$

siendo:

$$\xi = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2 \quad d \text{ en mm;}$$

$$f_{cv} = f_{ck} \leq 60 \text{ MPa}$$

$d$  canto útil

$b$  ancho de la sección de cálculo  $S_2$

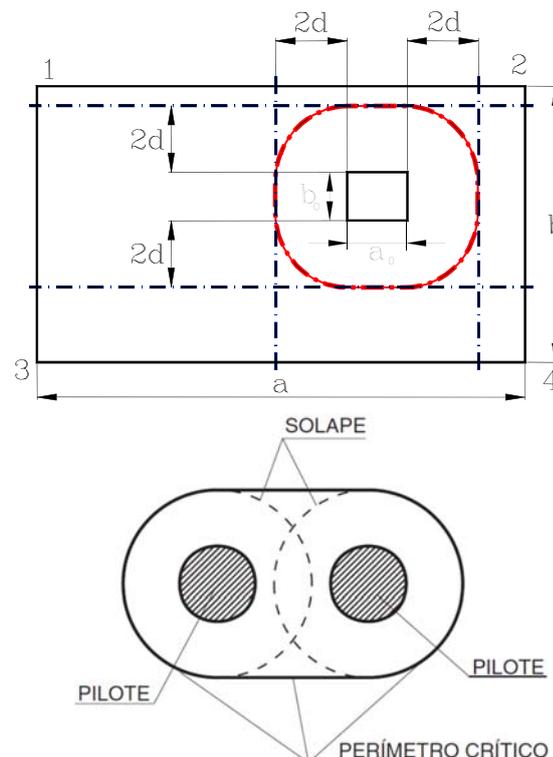
$\rho_1$  cuantía geométrica armadura longitudinal traccionada:

$$\rho_1 = \frac{A_s}{bd} \leq 0,02$$

- Si no se cumple la desigualdad, habría que disponer armadura de cortante (art. 44 EHE-08)
- Normalmente es una solución antieconómica y es preferible un aumento de canto, si es posible

### CÁLCULO A PUZONAMIENTO

Sección  $S_2'$  (donde se calculará el esf. punzonam. mayorado)



Fuente: EHE-08, 2011

## DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO DE PUNZONAMIENTO

- Esfuerzo de punzonamiento de cálculo ( $F_{sd}$ ):

Axil de cálculo menos reacción neta actuando dentro del perímetro crítico a una distancia  $h/2$

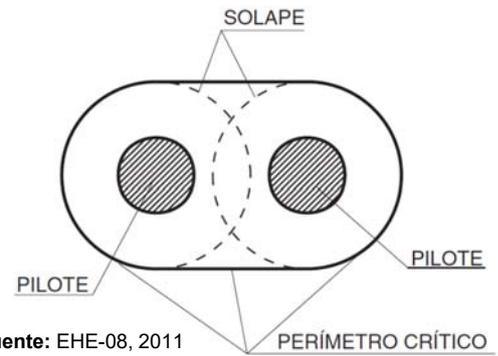
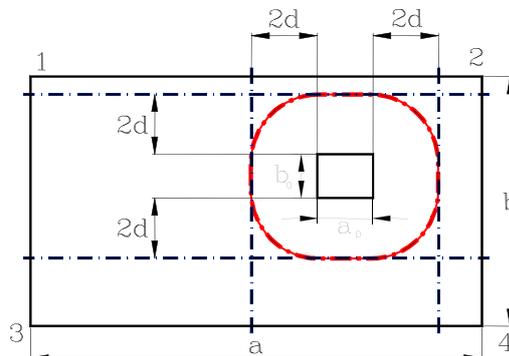
$$= N_{d,sop} - (N_{d,pilot,crit,h/2} - PP_{encep,crit,h/2}) \quad (\text{axil vertical hacia abajo})$$

$$= N_{d,pilot} - (PP_{terr,crit,h/2} + PP_{encep,crit,h/2}) \quad (\text{axil vertical hacia arriba})$$

- Esfuerzo efectivo de punzonamiento:

$$F_{sd,ef} = \beta F_{sd}$$

$\beta$	N	N+M			
		Sop. inter.	Sop. borde	Sop. esq.	Losa cimen.
	1,00	1,15	1,40	1,50	1,05



Fuente: EHE-08, 2011

PERÍMETRO CRÍTICO

## COMPROBACIÓN DE PUNZONAMIENTO (I)

- Superficie crítica sobre la que actúa  $F_{sd,ef}$ :

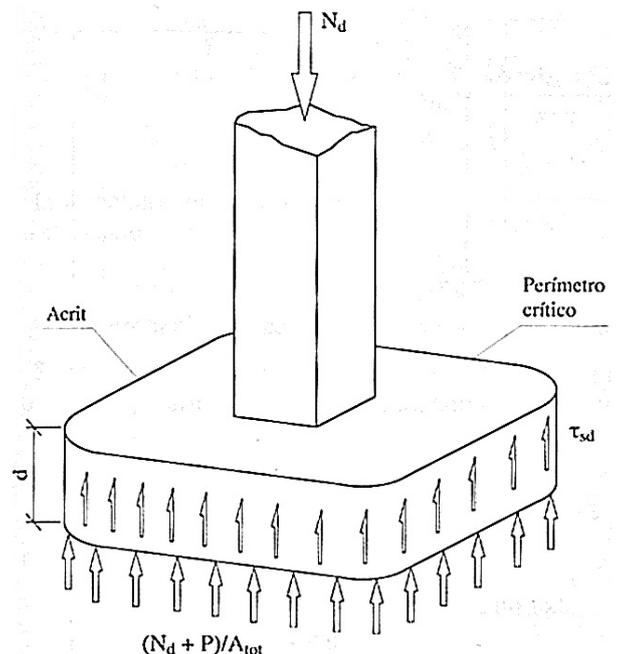
$$Sup = u_1 d$$

siendo  $u_1$  perímetro crítico de la sección de cálculo  $S_2'$ :

$$u_1 = 2(a_0 + b_0 + 2\pi d)$$

- Tensión tangencial de cálculo en el perímetro crítico:

$$\tau_{sd} = \frac{F_{sd,ef}}{Sup}$$



### COMPROBACIÓN DE PUNZONAMIENTO (II)

- Comprobación:

$$\tau_{sd} \leq \tau_{rd} = (0,18/\gamma_c) \xi (100\rho_l f_{cv})^{1/3} \geq (0,075/\gamma_c) \xi^{3/2} f_{cv}^{1/2}$$

$\rho_l$  cuantía geométrica armadura longitudinal traccionada:

$$\rho_l = \sqrt{\rho_x \rho_y} \leq 0,02$$

$\rho_x, \rho_y$  cuantías en dos direcc. perpendiculares. En cada dirección es la que hay en un ancho = dimensión del soporte + 3d a cada lado del soporte (o hasta el borde de la losa, si se trata de un soporte de borde o esquina)

- Si no se cumple la desigualdad, habría que disponer armadura de punzonamiento (art. 46 EHE-08)
- Normalmente es una solución antieconómica y es preferible un aumento de canto, si es posible
- Si  $u_1$  es exterior al encepado en parte, no hay rotura a punzonamiento

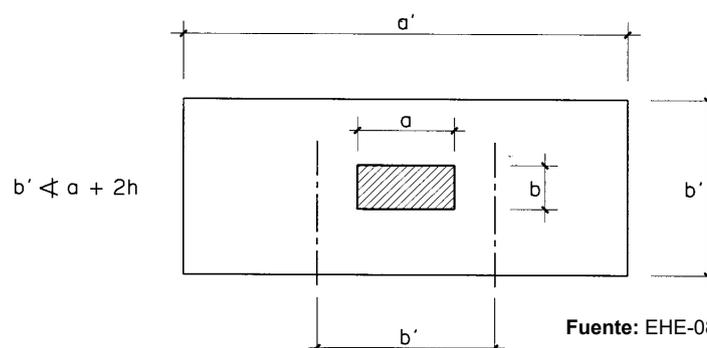
### DISPOSICIÓN DE ARMADURAS

#### Encepados cuadrados y encepados trabajando en una dirección

La armadura se podrá distribuir uniformemente en todo el ancho

#### Encepados rectangulares, trabajando en dos direcciones

- Armadura paralela al lado mayor ( $a'$ ):  
Distribución uniforme en todo el ancho  $b'$
- Armadura paralela al lado menor ( $b'$ ):  
- Una fracción =  $2b'/(a'+b')$  del área total  $A_s$  se distribuye uniformem. en una banda central, coaxial con el soporte, de ancho  $b' \geq a+2h$   
- El resto se repartirá uniformemente en las dos bandas laterales



### Definición

- Elementos para resistir excentricidades de construcción o momentos en cabeza de pilotes, en el caso de encepados de uno o dos pilotes
- En los encepados de un pilote son necesarias vigas centradoras en las dos direcciones

### Momento flector de cálculo

$$M_{1d} = \pm \left[ \gamma_g (M_g + N_g \cdot e) + \gamma_q (M_q + N_q \cdot e) \right] \geq \pm \frac{10}{12} l^2 \quad [\text{mkN}]$$

$e$  excentricidad en la dirección de la viga centradora considerada  
 $N, M$  esfuerzos en la base del pilar en la dirección considerada  
 $l$  luz entre ejes de encepados [m]

- $M_{1d}$  se reparte entre las dos vigas a ambos lados del encepado en proporción a sus rigideces (la mitad para cada una si son iguales)
- Si hay viga a un solo lado,  $M_{1d}$  se le asigna a ella
- La viga centradora en el otro sentido se calcula de forma análoga, considerando su excentricidad correspondiente

### Cortante de cálculo

$$V_{1d} = \frac{M_{1d}}{l} \geq \frac{l}{2} \quad [\text{kN}]$$

con  $M_{1d}$  en mkN y  $l$  en m

El esfuerzo cortante se considera constante en toda la luz

### Armadura de flexión simétrica

$$A_s = A'_s = \frac{M_{1d}}{z f_{yd}}$$

siendo  $z$  el brazo mecánico o distancia entre las armaduras  $A_s$  y  $A'_s$

### Dimensiones mínimas

- Ancho de la viga  $b \geq //20$
- Canto de la viga  $h \geq //12$

- I. Generalidades
- II. Tipos de pilotes
- III. Criterios de elección de pilotes
- IV. Cálculo de cargas y esfuerzos en los pilotes
- V. Cálculo geotécnicos
  - V.1 Carga de hundimiento del pilote aislado
  - V.2 Carga de hundimiento de un grupo de pilotes
  - V.3 Asientos de pilotes y grupos de pilotes
  - V.4 Pilotes sometidos a sollicitaciones especiales
- VI. Cálculos estructurales
  - VI.1 Dimensionado estructural del pilote
  - VI.2 Dimensionado de elementos auxiliares
- VII. Zonas sísmicas

## ZONAS SÍSMICAS

### CONSIDERACIONES PREVIAS (NCSE-02)

$$a_c = S \rho a_b$$

$\rho$  coef. riesgo (1,0 si construc. importancia normal; 1,3 si especial)

$a_b$  aceleración sísmica básica (NCSE-02 obligatoria si  $a_b \geq 0,04g$ ;  
p.ej.: Murcia = 0,15g ; Cartagena = 0,07g)

**S** coeficiente de amplificación del terreno:

$$S = \frac{C}{1,25} \text{ para } \rho a_b \leq 0,1g$$

$$S = \frac{C}{1,25} + 3,33 \left( \rho \frac{a_b}{g} - 0,1 \right) \left( 1 - \frac{C}{1,25} \right) \text{ para } 0,1g < \rho a_b < 0,4g$$

Tipo de Terreno	C
I (Roca compacta, suelo cementado o granular muy denso)	1,0
II (Roca muy fracturada, suelo granular denso o cohesivo duro)	1,3
III (S. granular compacidad media o cohesivo consistencia firme-muy firme)	1,6
IV (Suelo granular suelto o cohesivo blando)	2,0

Ej.: Normal imp., terreno III, Murcia  $a_c = 0,19g$  , Cartagena  $a_c = 0,09g$

Normal imp., terreno IV, Murcia  $a_c = 0,23g$  , Cartagena  $a_c = 0,11g$

### REGLAS DE DISEÑO Y PRESCRIPCIONES CONSTRUCTIVAS

#### Existencia de capas susceptibles de licuar

- Cuando existan, en los primeros 20 m de profundidad, capas de arenas sueltas situadas, total o parcialmente, bajo el nivel freático, deberá analizarse la posibilidad de licuación.
- No se considerará la resistencia de fuste en las capas de terreno susceptibles de licuar durante el sismo de cálculo, ni en los situados por encima de esos estratos.

#### Longitud mínima de la armadura longitudinal

- Desde la cabeza del pilote hasta  $4\phi$  bajo la última zona crítica (aquellas zonas en las que se alcanzaría primero su agotamiento estructural durante un terremoto)
- Mínimo 6 m

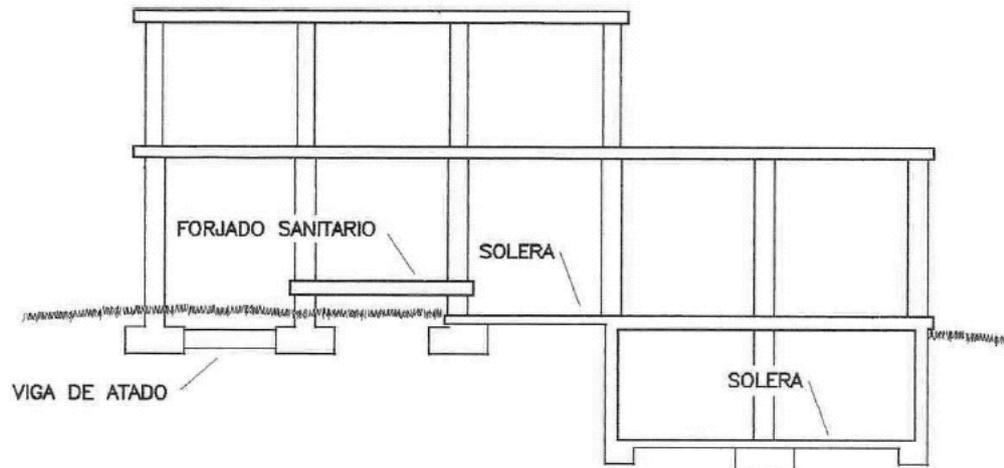
### REGLAS DE DISEÑO Y PRESCRIPCIONES CONSTRUCTIVAS

#### Armadura transversal

- Extendida a lo largo de toda la longitudinal
- Cercos o espiral de  $\phi_t \geq 6$  mm
- En las zonas críticas:
  - $\rho_s \geq 0,8 \%$  (cuantía volumétrica)
  - $s \leq 10$  cm (espaciado)
- En el resto del pilote:
  - $\rho_s \geq 0,6 \%$
  - $s \leq 15$  cm

### REGLAS DE DISEÑO Y PRESCRIPCIONES CONSTRUCTIVAS

#### DISPOSICIÓN DE LOS ELEMENTOS DE ATADO (NCSE-02)



Fuente: NCSE-02, 2002

Los encepados se enlazarán entre sí en dos direcciones mediante elementos de atado, que serán:

- Si  $a_c \geq 0,16g \Rightarrow$  Vigas de hormigón armado
- Si  $a_c < 0,16g \Rightarrow$  Podrá ser una solera de hormigón

### REGLAS DE DISEÑO Y PRESCRIPCIONES CONSTRUCTIVAS

#### DIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS DE ATADO (NCSE-02)

- Deben ser capaces de resistir un esfuerzo axial, tanto de tracción como de compresión, igual a la carga sísmica horizontal transmitida en cada apoyo

#### DIMENSIONAMIENTO DE LAS VIGAS DE ATADO (NCSE-94)

$$\text{Compresión: } 0,85A_c f_{cd} + A_s f_{yd} \geq a_c N_d$$

$$\text{Tracción: } A_s f_{yd} > a_c N_d \Rightarrow A_{s,total}$$

siendo:  $N_d$  esfuerzo del soporte más cargado de los dos que enlaza  
 $a_c$  aceleración sísmica de cálculo

