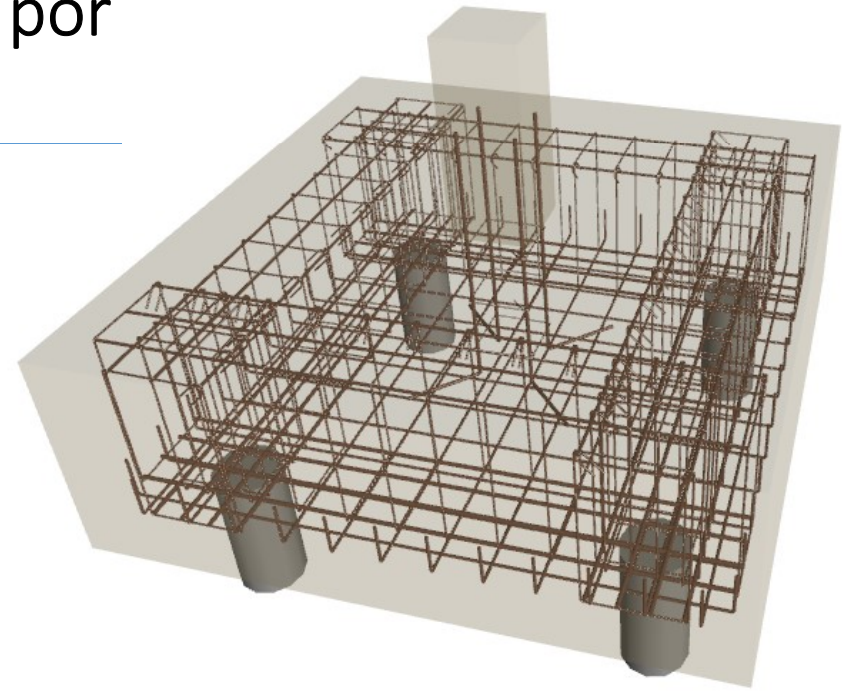
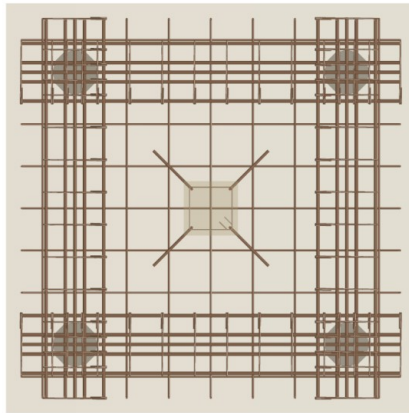




Diseño de encepados de cimentación por el método de bielas y tirantes

Jornada sobre cálculo de nudos con programas informáticos



Características generales de los programa de CYPE

- Introducción la estructura completa y sus cargas
- Generación del modelo de análisis, cálculo y dimensionamiento de elementos de hormigón y metálicos
- Verificaciones basadas en criterios normativos



Comprobaciones P6

1.- CANTO MÍNIMO DEL ENCEPADO

El canto total mínimo en el borde de los elementos de cimentación de hormigón armado no será inferior a 25 cm si se apoyan sobre el terreno, ni a 40 cm si se trata de encepados sobre pilotes. Además, en este último caso el espesor no será, en ningún punto, inferior al diámetro del pilote (EHE-08, 58.8.1).

$h \geq h_{\min}$ **800.0 mm \geq 400.0 mm ✓**

Donde:

h : Cantototal.	h : 800.0 mm
h_{\min} : Cantototal mínimo. Se calcula como el mayor de los siguientes valores:	h_{\min} : 400.0 mm
$h_{\min,1} = 40$ cm	$h_{\min,1}$: 400.0 mm
$h_{\min,2} = a$	$h_{\min,2}$: 250.0 mm

Siendo:

a : Mayordimensión de la sección del pilote.	a : 250.0 mm
--	----------------

2.- DISTANCIA MÁXIMA ENTRE EL PILETE Y EL ARRANQUE

Dentro del grupo de cimentaciones rígidas se encuentran los encepados cuyo vuelo 'v' en la dirección principal de mayor vuelo es menor que '2·h' (EHE-08, 58.2.1).

$v_{\max} \leq 2 \cdot h$ **848.5 mm \leq 1600.0 mm ✓**

Donde:

h : Cantototal.	h : 800.0 mm
v_{\max} : Mayor distancia entre el perímetro del pilar y el eje del pilote.	v_{\max} : 848.5 mm

3.- VUELO LIBRE MÍNIMO DEL ENCEPADO

La distancia existente entre cualquier punto del perímetro del pilote y el contorno exterior de la base del encepado no será inferior a 25 cm (EHE-08, 58.8.1).

$v \geq v_{\min}$ **255.0 mm \geq 250.0 mm ✓**

Donde:

v : Distancia existente entre el perímetro del pilote y el contorno exterior de la base del encepado.	v : 255.0 mm
v_{\min} : Distancia mínima entre el perímetro del pilote y el contorno exterior de la base del encepado.	v_{\min} : 250.0 mm

4.- DIMENSIONES MÍNIMAS DE LOS PILES

Los pilotes ejecutados en obra deberán tener su dimensión mínima mayor o igual a 25 cm (EHE-08, 58.6).

$a \geq a_{\min}$ **250.0 mm \geq 250.0 mm ✓**

Donde:

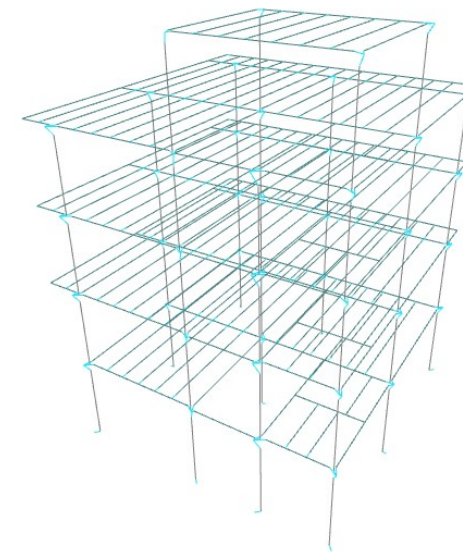
a : Dimensión del pilote.	a : 250.0 mm
a_{\min} : Dimensión mínima del pilote.	a_{\min} : 250.0 mm

5.- DIÁMETRO MÍNIMO DE LA ARMADURA LONGITUDINAL

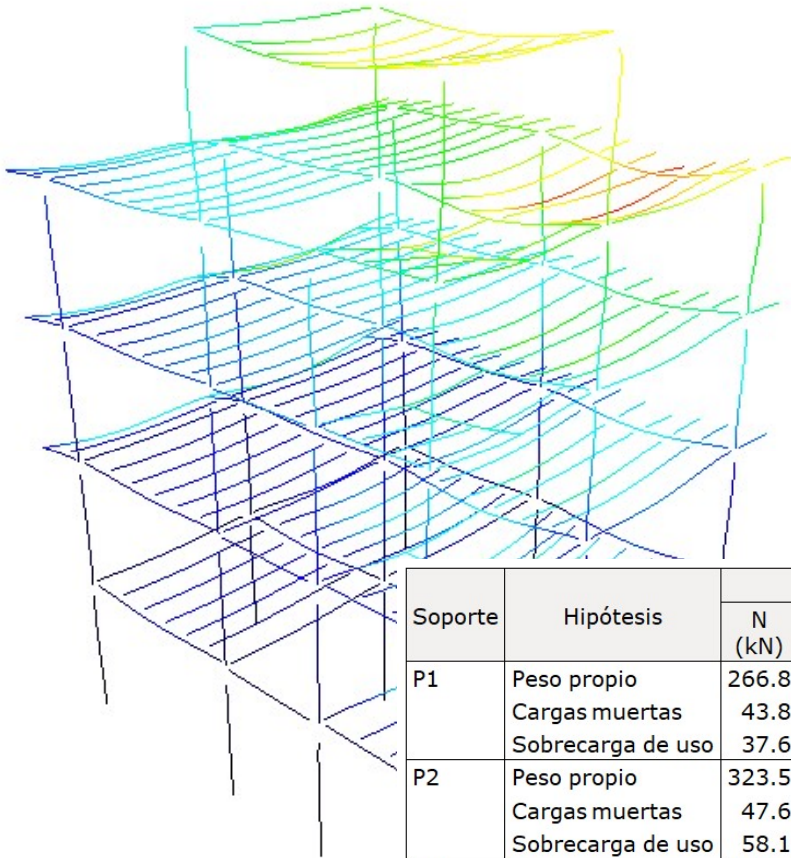
Se recomienda que el diámetro de las armaduras a disponer en un elemento de cimentación no sea inferior a 12 mm (EHE-08, 58.8.2).

$\phi \geq \phi_{\min}$ **12.0 mm \geq 12.0 mm ✓**

Página 2 - 10

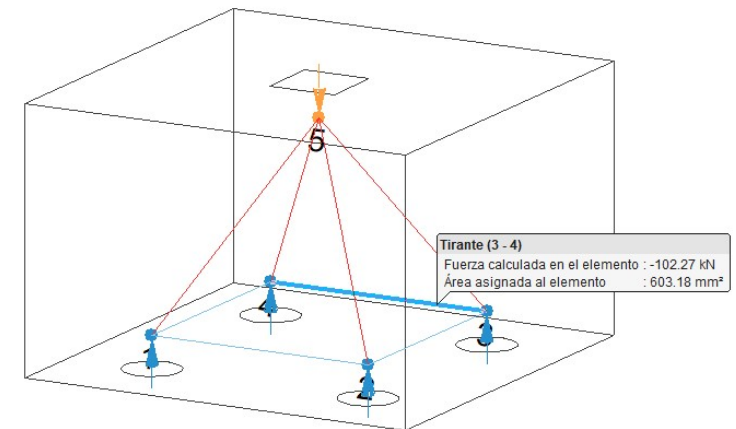


Diseño de encepados de cimentación



- Para diseñar el encepado se utilizan los esfuerzos obtenidos en los arranques de los soportes
- Generación automática del modelo de bielas y tirantes y análisis para obtener los esfuerzos en cada barra
- Verificaciones de geometría y armado basadas en criterios normativos

Soporte	Hipótesis	Esfuerzos en arranques					
		N (kN)	Mx (kN·m)	My (kN·m)	Qx (kN)	Qy (kN)	T (kN·m)
P1	Peso propio	266.8	-4.3	-2.5	-4.4	-3.1	0.0
	Cargas muertas	43.8	-1.0	-0.2	-1.0	-0.2	0.0
	Sobrecarga de uso	37.6	-0.9	-0.2	-0.9	-0.2	0.0
P2	Peso propio	323.5	2.4	-1.1	2.3	-2.2	0.0
	Cargas muertas	47.6	1.0	-0.1	0.9	-0.2	0.0
	Sobrecarga de uso	58.1	0.5	-0.0	0.5	-0.2	0.0
P3	Peso propio	259.2	1.2	-5.0	1.1	-6.5	0.0
	Cargas muertas	17.1	-0.1	-0.4	-0.1	-0.5	0.0
	Sobrecarga de uso	36.6	0.5	-0.4	0.5	-0.6	0.0
P4	Peso propio	189.5	1.6	-2.2	1.5	-3.9	0.0
	Cargas muertas	24.7	0.3	-0.2	0.3	-0.4	0.0
	Sobrecarga de uso	18.1	0.4	-0.2	0.3	-0.4	0.0



Diseño de encepados de cimentación

ESFUERZOS DE CÁLCULO

13.2

ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS

Para las distintas situaciones de proyecto, las combinaciones de acciones se definirán de acuerdo con los siguientes criterios:

— Situaciones permanentes o transitorias:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G_{k,j}^* + \gamma_P P_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

— Situaciones accidentales:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G_{k,j}^* + \gamma_P P_k + \gamma_A A_k + \gamma_{Q,1} \Psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

— Situaciones sísmicas:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G_{k,j}^* + \gamma_P P_k + \gamma_A A_{E,k} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Documento Básico SE Seguridad Estructural

Tabla 4.2 Coeficientes de simultaneidad (ψ)

	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Sobrecarga superficial de uso (Categorías según DB-SE-AE)			
• Zonas residenciales (Categoría A)	0,7	0,5	0,3
• Zonas administrativas (Categoría B)	0,7	0,5	0,3
• Zonas destinadas al público (Categoría C)	0,7	0,7	0,6
• Zonas comerciales (Categoría D)	0,7	0,7	0,6
• Zonas de tráfico y de aparcamiento de vehículos ligeros peso total inferior a 30 kN (Categoría E)	0,7	0,7	0,6
• Cubiertas transitables (Categoría F)		(1)	
• Cubiertas accesibles para mantenimiento (Categoría G)	0	0	0
Nieve			
• para altitudes > 1000 m	0,7	0,5	0,2
• para altitudes ≤ 1000 m	0,5	0,2	0
Viento	0,6	0,5	0
Temperatura	0,6	0,5	0
Acciones variables del terreno	0,7	0,7	0,7

(1) En las cubiertas transitables, se adoptarán los valores correspondientes al uso desde el que se accede.

Diseño de encepados de cimentación

COEFICIENTES DE MAYORACIÓN DE ACCIONES

- CTE DB-SE-C

Documento Básico SE-C Cimientos

Tabla 2.1. Coeficientes de seguridad parciales

Situación de dimensionado	Tipo	Materiales		Acciones	
		γ_R	γ_M	γ_E	γ_F
	Hundimiento	3,0 ⁽¹⁾	1,0	1,0	1,0
	Deslizamiento	1,5 ⁽²⁾	1,0	1,0	1,0
	Vuelco ⁽²⁾				
	Acciones estabilizadoras	1,0	1,0	0,9 ⁽³⁾	1,0
	Acciones desestabilizadoras	1,0	1,0	1,8	1,0
	Estabilidad global	1,0	1,8	1,0	1,0
	Capacidad estructural	- (4)	- (4)	1,6 ⁽⁵⁾	1,0

⁽⁴⁾ Los correspondientes de los Documentos Básicos relativos a la seguridad estructural de los diferentes materiales o la Instrucción EHE.

⁽⁵⁾ Aplicable a elementos de hormigón estructural cuyo nivel de ejecución es intenso o normal, según la Instrucción EHE. En los casos en los que el nivel de control de ejecución sea reducido, el coeficiente γ_E debe tomarse, para situaciones persistentes o transitorias, igual a 1,8.

- EHE-08

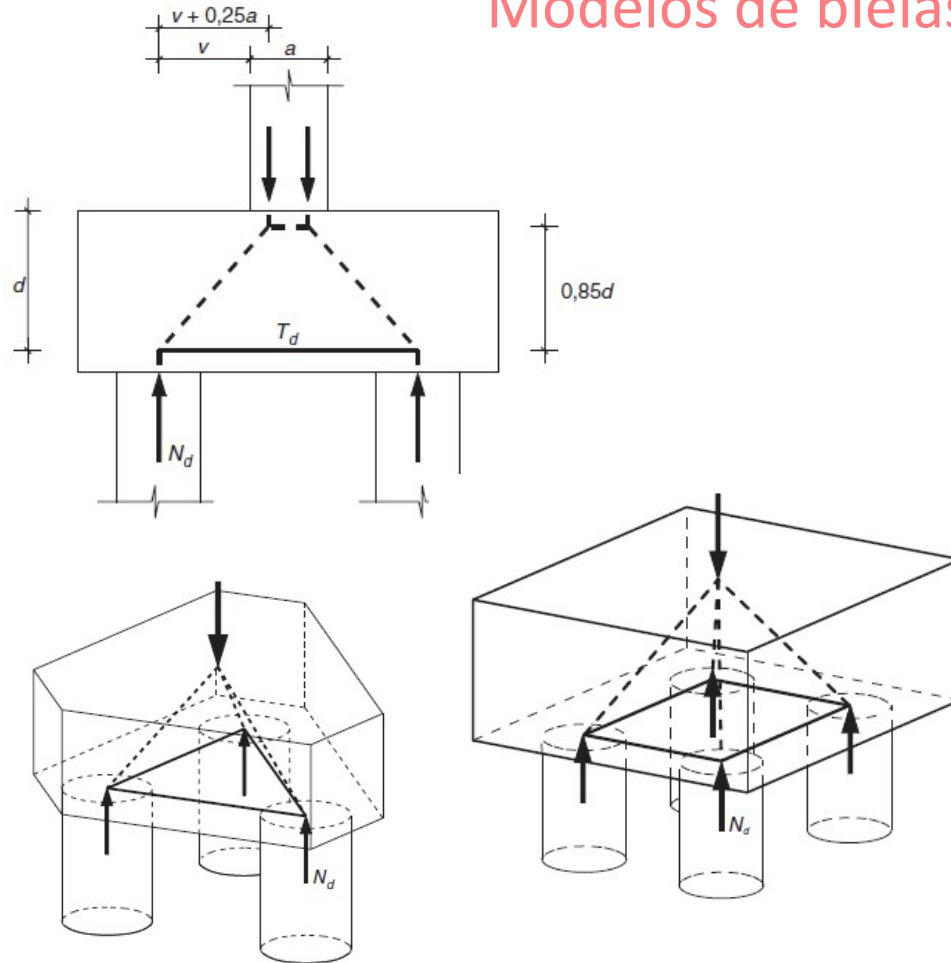
EHE/08 • Instrucción de Hormigón Estructural

Tabla 12.1.a

Coeficientes parciales de seguridad para las acciones, aplicables para la evaluación de los Estados Límite Últimos

Tipo de acción	Situación persistente o transitoria		Situación accidental	
	Efecto favorable	Efecto desfavorable	Efecto favorable	Efecto desfavorable
Permanente	$\gamma_G = 1,00$	$\gamma_G = 1,35$	$\gamma_G = 1,00$	$\gamma_G = 1,00$
Pretensado	$\gamma_P = 1,00$	$\gamma_P = 1,00$	$\gamma_P = 1,00$	$\gamma_P = 1,00$
Permanente de valor no constante	$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,50$	$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,00$
Variable	$\gamma_Q = 0,00$	$\gamma_Q = 1,50$	$\gamma_Q = 0,00$	$\gamma_Q = 1,00$
Accidental	—	—	$\gamma_A = 1,00$	$\gamma_A = 1,00$

Modelos de bielas y tirantes propuestos por la EHE-08



- La EHE-08 proporciona modelos de bielas y tirantes para encepados de 2, 3 ó 4 pilotes
- Modelo válido para una única carga centrada
- Queda fuera de su ámbito de aplicación encepados de pilares sometidos a flexión biaxial con tracción en alguna de las armaduras

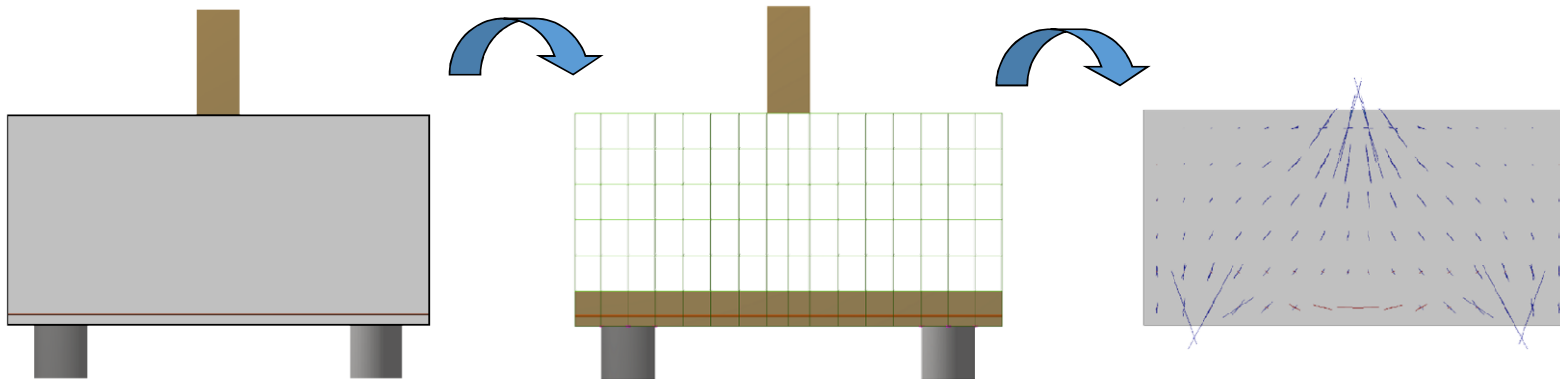
Proyecto de investigación STRUT3D

- Proyecto liderado por CYPE con título “Desarrollo de una metodología general de cálculo para análisis 3D de regiones D” (STRUT3D)
- Financiado por el “Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial” (CDTI), cofinanciado por el “Fondo Europeo de Desarrollo Regional” (FEDER)
- Con la colaboración del Instituto de Ciencia y Tecnología del Hormigón (ICITECH)



Proyecto de investigación STRUT3D

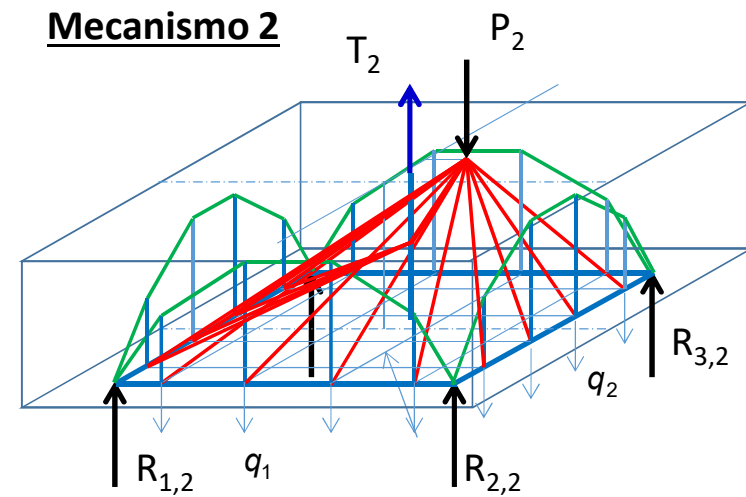
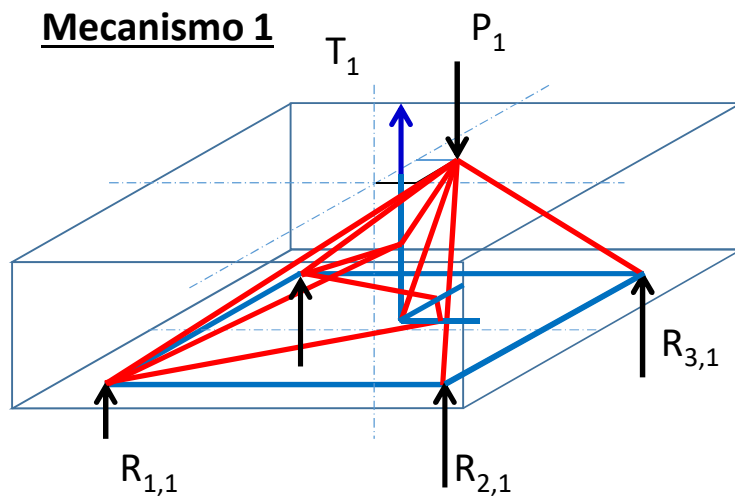
- Estudio del comportamiento de numerosos tipos de encepados con diversas geometrías, disposiciones de pilotes y estados de carga
- Modelos de elementos finitos para estudiar los campos tensionales
- Deducción de los modelos de bielas y tirantes más apropiados



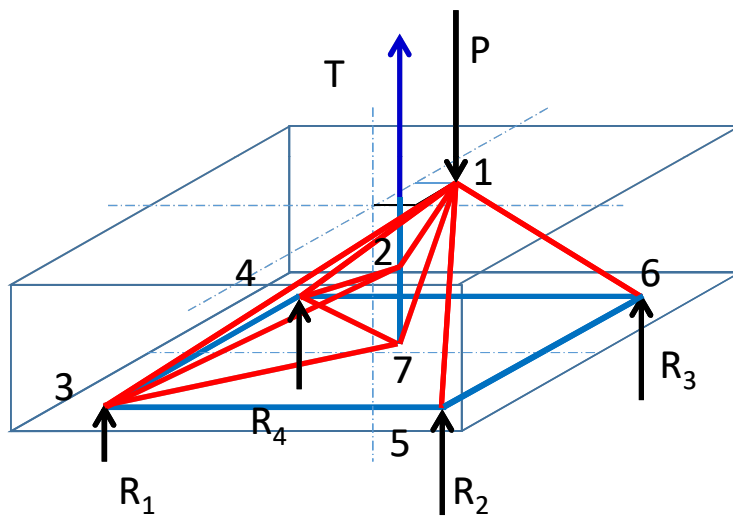
Proyecto de investigación STRUT3D

MODELO DE BIELAS Y TIRANTES DEDUCIDO

- Mecanismo principal (1): las bielas apoyan sobre los pilotes
- Mecanismo secundario (2): las bielas apoyan en el encepado a lo largo de las bandas entre pilotes



Modelo de bielas y tirantes propuesto

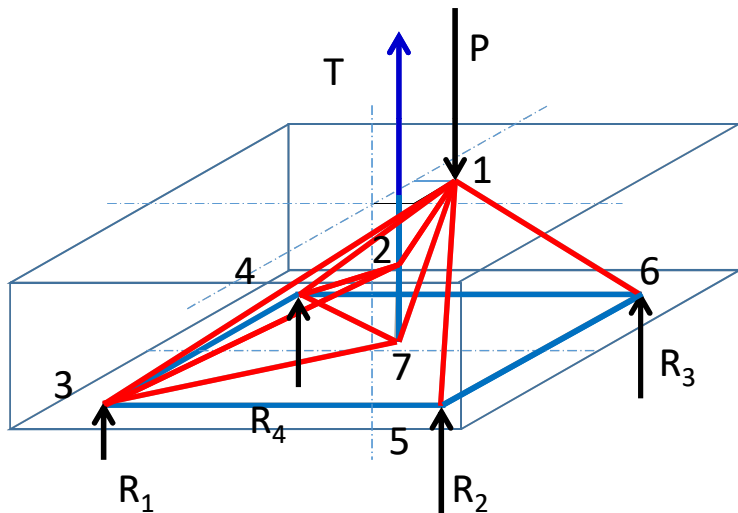


TRANSMISIÓN DE LA COMPRESIÓN DEL SOPORTE

- P es la resultante de compresiones en el soporte
- Se equilibra mediante la transmisión directa de la carga a la cabeza de los pilotes
- Formación de las bielas diagonales 1-3, 1-4, 1-5 y 1-6
- Corresponde al modelo de bielas y tirantes generalmente utilizado

Modelo de bielas y tirantes propuesto

TRANSMISIÓN DE LA TRACCIÓN DE LA ARMADURA

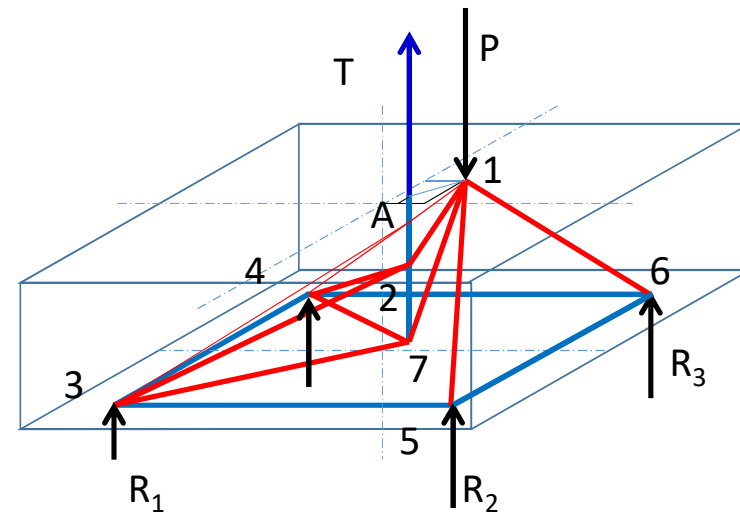
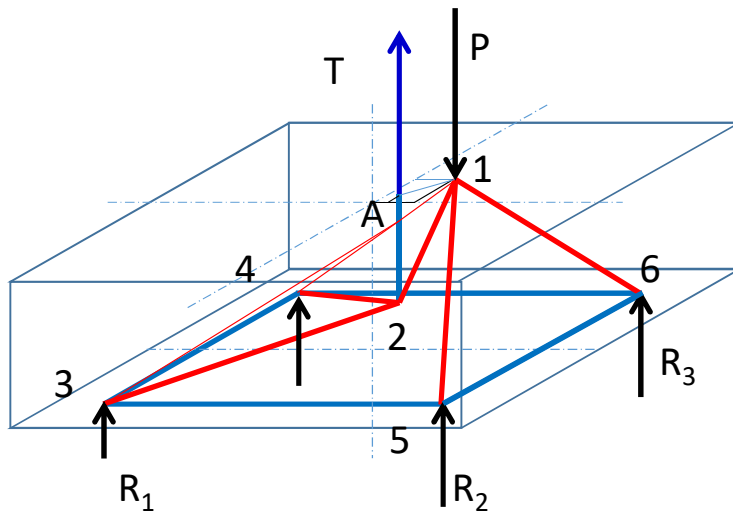


- T es la tracción ejercida por la armadura del soporte
- Se equilibra dentro del encepado en el nudo 2
- Formación de las bielas 1-2, 2-3 y 2-4

Modelo de bielas y tirantes propuesto

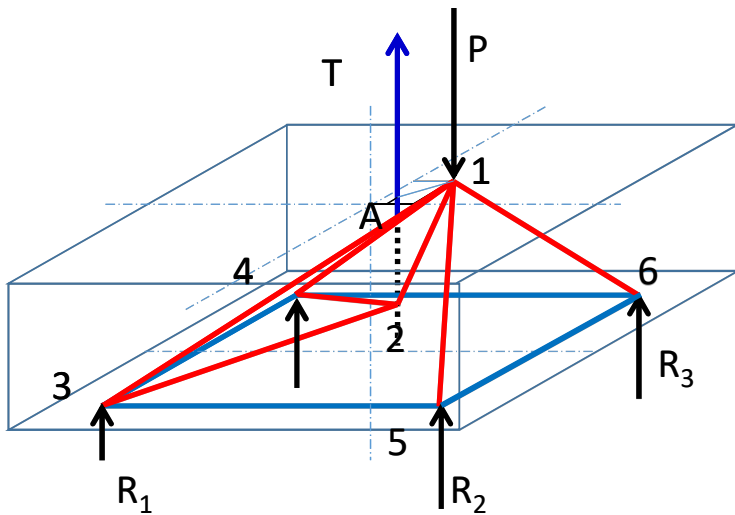
CASOS SEGÚN EL ANCLAJE DE LA ARMADURA TRACCIONADA

- Dos posibles casos dependiendo de si la armadura tiene o no la suficiente longitud para permitir el anclaje en prolongación recta.



Modelo de bielas y tirantes propuesto

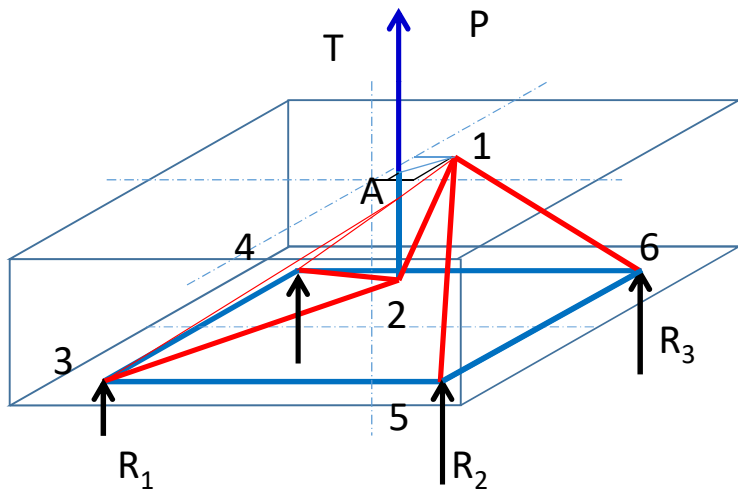
ANCLAJE DE LA ARMADURA



- La armadura empieza a ceder su tracción por debajo del plano formado por los puntos 1-3-4 (punto A)
- Las tensiones de adherencia se desarrollan por debajo del punto A y hasta el plano de la armadura principal
- Se tiene en cuenta la longitud neta de anclaje de la armadura

Modelo de bielas y tirantes propuesto

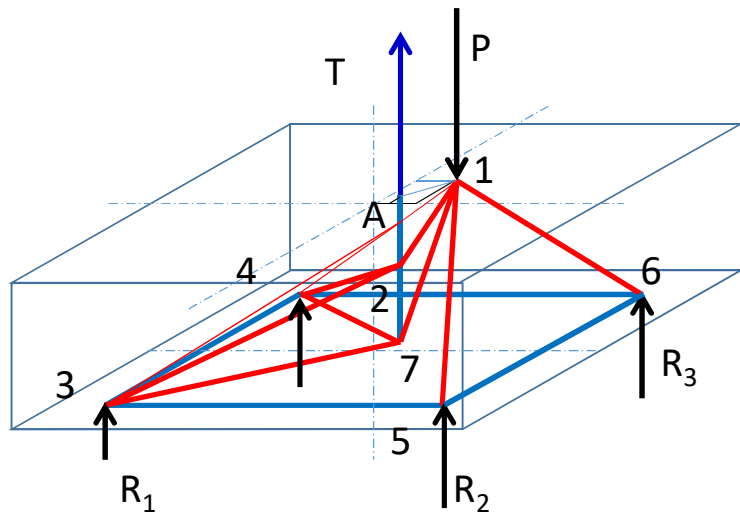
CASO 1



- La longitud de anclaje disponible medida desde el punto A es superior a $l_{b, \text{neta}}$ en prolongación recta
- El nudo 2 se sitúa a una distancia igual a la mitad de la longitud de anclaje en prolongación recta medida desde A

Modelo de bielas y tirantes propuesto

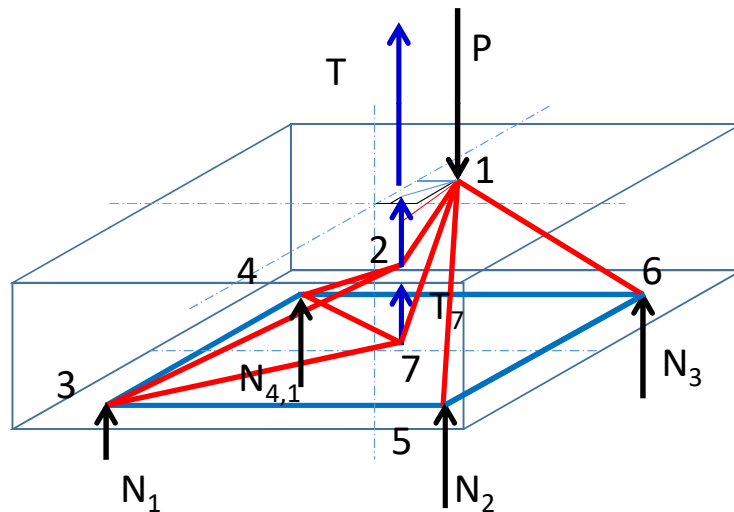
CASO 2



- La longitud de anclaje disponible medida desde el punto A es inferior a $l_{b,neta}$ en prolongación recta
- Se genera el nudo 7 en la intersección con el plano de la armadura principal
- El nudo 2 está situado a la mitad de la distancia A-7

Modelo de bielas y tirantes propuesto

CASO 2



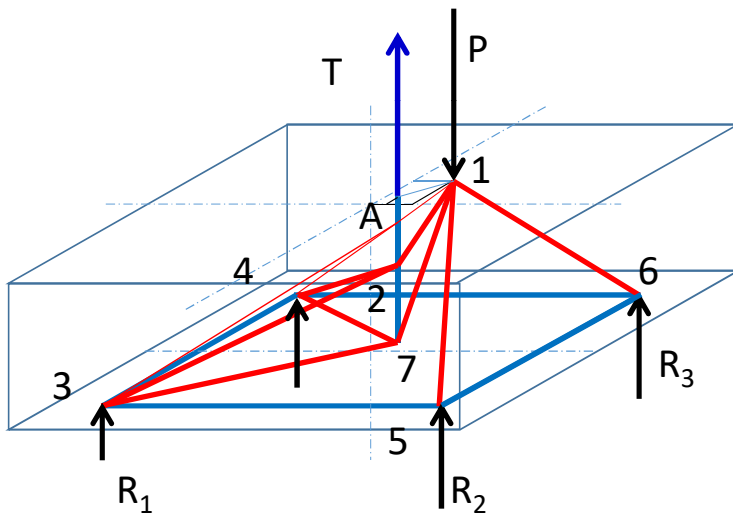
- La tracción de la armadura T se reparte entre los nudos 2 (T_2) y 7 (T_7)

$$T_2 = \frac{z_A - z_7}{l_{b,neta}} T$$

$$T_7 = T - T_2$$

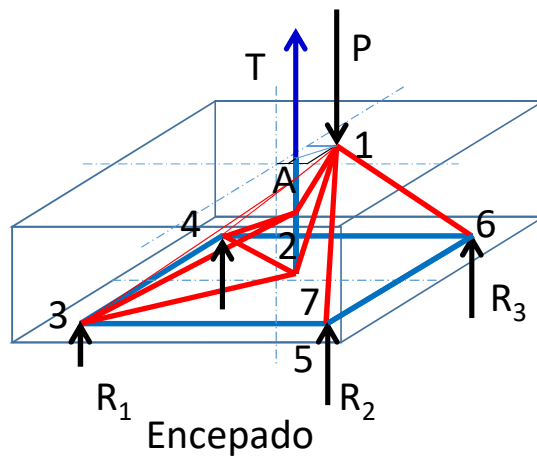
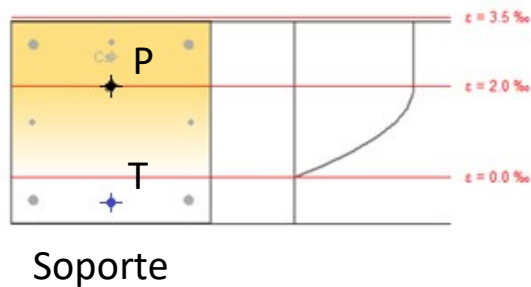
Modelo de bielas y tirantes propuesto

RESOLUCIÓN DEL MODELO



- (1) Generación del modelo de barras propuesto
- (2) Condición adicional: las reacciones siguen una ley plana
- (1) + (2) Estructura estáticamente determinada
- Obtenemos las fuerzas actuantes sobre cada una de las barras y las reacciones en los apoyos sobre los pilotes

Modelo de bielas y tirantes propuesto



RESOLUCIÓN DEL MODELO

- El modelo de bielas y tirantes se genera y resuelve para los esfuerzos combinados
- Obtención de P y T dada la geometría y armado del soporte.
- El modelo de bielas y tirantes depende de la posición de C y T , así como de la longitud de anclaje necesaria para anclar T

Verificaciones normativas

Comprobaciones P6

1.- CANTO MÍNIMO DEL ENCEPADO

El canto total mínimo en el borde de los elementos de cimentación de hormigón armado no será inferior a 25 cm si se apoyan sobre el terreno, ni a 40 cm si se trata de encepados sobre pilotes. Además, en este último caso el espesor no será, en ningún punto, inferior al diámetro del pilote (EHE-08, 58.8.1).

800.0 mm \geq 400.0 mm ✓

Se calcula como el mayor de los siguientes valores:

h : 800.0 mm
 $h_{\text{máx}}$: 400.0 mm
 $h_{\text{mín},1}$: 400.0 mm
 $h_{\text{mín},2}$: 250.0 mm
 a : 250.0 mm

ARRANQUE

En los encepados cuyo vuelo 'v' en la dirección (8.2.1),

848.5 mm \leq 1600.0 mm ✓

h : 800.0 mm
 $v_{\text{máx}}$: 848.5 mm

CANTO MÍNIMO DEL ENCEPADO

La distancia existente entre cualquier punto del perímetro del pilote y el contorno exterior de la base del encepado no será inferior a 25 cm (EHE-08, 58.8.1).

255.0 mm \geq 250.0 mm ✓

Por lo tanto, se cumple con los requisitos.

Donde:
 v : Distancia existente entre el perímetro del pilote y el contorno exterior de la base del encepado.
 $v_{\text{máx}}$: Distancia mínima entre el perímetro del pilote y el contorno exterior de la base del encepado.

Geometría	Armado
Encepado de 4 pilotes	Parrilla inferior X: Ø16c/20
Vuelo X: 38.0 cm	Parrilla inferior Y: Ø16c/20
Vuelo Y: 38.0 cm	Viga paralela X:
Canto: 80.0 cm	Armadura inferior: 4Ø12
Separación entre ejes X de pilotes: 1.50 m	Armadura superior: 3Ø12
Separación entre ejes Y de pilotes: 1.50 m	Estribos verticales: Ø8c/10
	Viga paralela Y:
	Armadura inferior: 4Ø12
	Armadura superior: 3Ø12
	Estribos verticales: Ø8c/10



COMPROBACIONES SEGÚN EHE-08

- Geométricas
- Disposiciones de armado
- Armaduras mínimas
- Resistencia

Verificaciones normativas

COMPROBACIONES GEOMÉTRICAS

1.- CANTO MÍNIMO DEL ENCEPADO

El canto total mínimo en el borde de los elementos de cimentación de hormigón armado no será inferior a 25 cm si se apoyan sobre el terreno, ni a 40 cm si se trata de encepados sobre pilotes. Además, en este último caso el espesor no será, en ningún punto, inferior al diámetro del pilote (EHE-08, 58.8.1).

$$h \geq h_{\min}$$

$$800.0 \text{ mm} \geq 400.0 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Donde:

h: Canto total.

$$h : \underline{800.0} \text{ mm}$$

h_{min}: Canto total mínimo. Se calcula como el mayor de los siguientes valores:

$$h_{\min} : \underline{400.0} \text{ mm}$$

$$h_{\min,1} = 40 \text{ cm}$$

$$h_{\min,1} : \underline{400.0} \text{ mm}$$

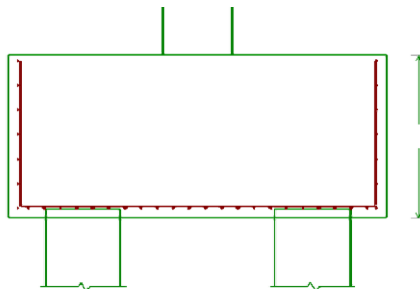
$$h_{\min,2} = a$$

$$h_{\min,2} : \underline{250.0} \text{ mm}$$

Siendo:

a: Mayor dimensión de la sección del pilote.

$$a : \underline{250.0} \text{ mm}$$



$$h \geq h_{\min}$$

58.8

DIMENSIONES
Y ARMADURAS MÍNIMAS
DE ZAPATAS, ENCEPADOS
Y LOSAS DE CIMENTACIÓN

58.8.1

Cantos y dimensiones
mínimos

El canto mínimo en el borde de las zapatas de hormigón en masa no será inferior a 35 cm.

El canto total mínimo en el borde de los elementos de cimentación de hormigón armado no será inferior a 25 cm si se apoyan sobre el terreno, ni a 40 cm si se trata de encepados sobre pilotes. Además, en este último caso el espesor no será, en ningún punto, inferior al diámetro del pilote.

La distancia existente entre cualquier punto del perímetro del pilote y el contorno exterior de la base del encepado no será inferior a 25 cm.

Verificaciones normativas

COMPROBACIONES GEOMÉTRICAS

2.- DISTANCIA MÁXIMA ENTRE EL PILOTE Y EL ARRANQUE

Dentro del grupo de cimentaciones rígidas se encuentran los encepados cuyo vuelo 'v' en la dirección principal de mayor vuelo es menor que '2·h' (EHE-08, 58.2.1).

$$v_{\max} \leq 2 \cdot h$$

$$848.5 \text{ mm} \leq 1600.0 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Donde:

h: Canto total.

$$h : \underline{800.0} \text{ mm}$$

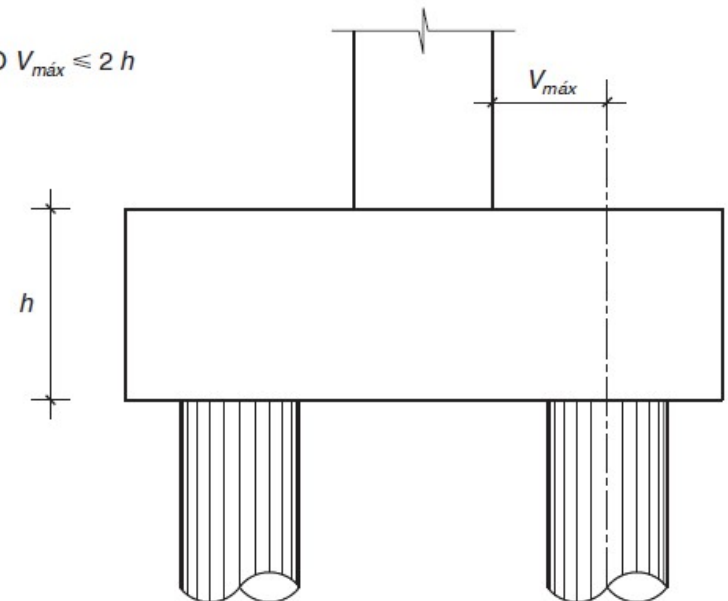
v_{max}: Mayor distancia entre el perímetro del pilar y el eje del pilote.

$$v_{\max} : \underline{848.5} \text{ mm}$$

58.2.1

Cimentaciones rígidas

RÍGIDO $v_{\max} \leq 2 h$



Verificaciones normativas

COMPROBACIONES GEOMÉTRICAS

3.- VUELO LIBRE MÍNIMO DEL ENCEPADO

La distancia existente entre cualquier punto del perímetro del pilote y el contorno exterior de la base del encepado no será inferior a 25 cm (EHE-08, 58.8.1).

$$v \geq v_{\min}$$

$$255.0 \text{ mm} \geq 250.0 \text{ mm} \quad \checkmark$$

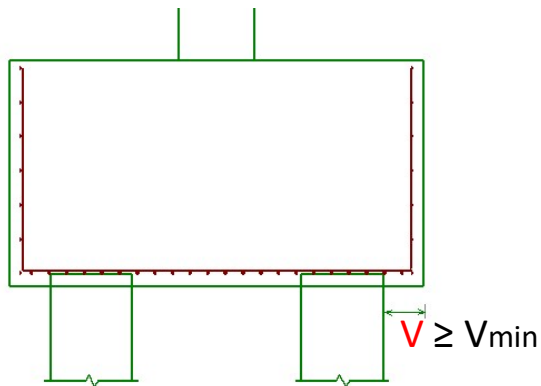
Donde:

v: Distancia existente entre el perímetro del pilote y el contorno exterior de la base del encepado.

$$v : \underline{255.0} \text{ mm}$$

v_{min}: Distancia mínima entre el perímetro del pilote y el contorno exterior de la base del encepado.

$$v_{\min} : \underline{250.0} \text{ mm}$$



58.8

DIMENSIONES
Y ARMADURAS MÍNIMAS
DE ZAPATAS, ENCEPADOS
Y LOSAS DE CIMENTACIÓN

58.8.1

Cantos y dimensiones
mínimos

El canto mínimo en el borde de las zapatas de hormigón en masa no será inferior a 35 cm.

El canto total mínimo en el borde de los elementos de cimentación de hormigón armado no será inferior a 25 cm si se apoyan sobre el terreno, ni a 40 cm si se trata de encepados sobre pilotes. Además, en este último caso el espesor no será, en ningún punto, inferior al diámetro del pilote.

La distancia existente entre cualquier punto del perímetro del pilote y el contorno exterior de la base del encepado no será inferior a 25 cm.

Verificaciones normativas

COMPROBACIONES GEOMÉTRICAS

4.- DIMENSIONES MÍNIMAS DE LOS PILOTES

Los pilotes ejecutados en obra deberán tener su dimensión mínima mayor o igual a 25 cm (EHE-08, 58.6).

$$a \geq a_{\min}$$

$$250.0 \text{ mm} \geq 250.0 \text{ mm} \quad \checkmark$$

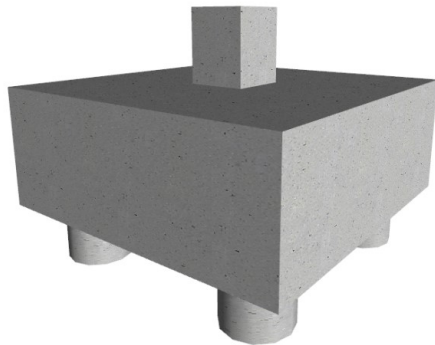
Donde:

a: Dimensión del pilote.

a_{min}: Dimensión mínima del pilote.

$$a : \underline{250.0} \text{ mm}$$

$$a_{\min} : \underline{250.0} \text{ mm}$$



58.6

PILOTES

La comprobación de un pilote es análoga a la de un soporte, Artículo 54°, en que el terreno impide, al menos parcialmente, el pandeo.

Artículo 54.º

Soportes

Los soportes ejecutados en obra deberán tener su dimensión mínima mayor o igual a 25 cm.

Verificaciones normativas

COMPROBACIONES DE DISPOSICIONES DE ARMADO

5.- DIÁMETRO MÍNIMO DE LA ARMADURA LONGITUDINAL

Se recomienda que el diámetro de las armaduras a disponer en un elemento de cimentación no sea inferior a 12 mm (EHE-08, 58.8.2).

$$\varnothing \geq \varnothing_{\min}$$

$$12.0 \text{ mm} \geq 12.0 \text{ mm} \quad \checkmark$$

El resultado pésimo se produce para las barras del siguiente grupo: Viga paralela X - Armadura superior.

Donde:

\varnothing : Diámetro de la barra.

\varnothing_{\min} : Diámetro mínimo de la barra.

$$\varnothing : \underline{12.0} \text{ mm}$$

$$\varnothing_{\min} : \underline{12.0} \text{ mm}$$

58.8.2

Disposición de armadura

COMENTARIOS

Se recomienda que el diámetro mínimo de las armaduras a disponer en un elemento de cimentación no sea inferior a 12 mm.

$$\varnothing \geq \varnothing_{\min}$$



Verificaciones normativas

COMPROBACIONES DE DISPOSICIONES DE ARMADO

6.- DISTANCIA LIBRE MÍNIMA ENTRE BARRAS PARALELAS

La distancia libre, horizontal y vertical, entre dos barras aisladas consecutivas debe ser igual o superior a a_{min} (EHE-08, 69.4.1.1):

$$a \geq a_{min} \quad 88.7 \text{ mm} \geq 20.0 \text{ mm} \quad \checkmark$$

El resultado pésimo se produce para las barras del siguiente grupo: Viga paralela X - Armadura inferior.

Donde:

a : Distancia libre.

$$a : 88.7 \text{ mm}$$

a_{min} : Distancia mínima libre, obtenida como el mayor de los siguientes valores:

$$a_{min} : 20.0 \text{ mm}$$

$$a_1 = 20 \text{ mm}$$

$$a_1 : 20.0 \text{ mm}$$

$$a_2 = 1.25 \cdot d_s$$

$$a_2 : 18.8 \text{ mm}$$

$$a_3 = \emptyset$$

$$a_3 : 16.0 \text{ mm}$$

Siendo:

\emptyset : Diámetro de la barra.

$$\emptyset : 16.0 \text{ mm}$$

d_s : Tamaño máximo del árido.

$$d_s : 15.0 \text{ mm}$$

69.4

ARMADO DE LA FERRALLA

69.4.1

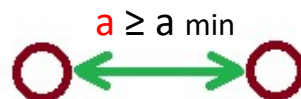
Distancia entre barras de armaduras pasivas

69.4.1.1

Barras aisladas

La distancia libre, horizontal y vertical, entre dos barras aisladas consecutivas, salvo lo indicado en 69.4.1, será igual o superior al mayor de los tres valores siguientes:

- 20 milímetros salvo en viguetas y losas alveolares pretensadas donde se tomarán 15 mm;
- El diámetro de la mayor;
- 1,25 veces el tamaño máximo del árido (ver 28.3).



Verificaciones normativas

COMPROBACIONES DE DISPOSICIONES DE ARMADO

7.- DISTANCIA MÁXIMA ENTRE CENTROS DE BARRAS PARALELAS

La armadura dispuesta en las caras superior, inferior y laterales no distará más de 30 cm (EHE-08, 58.8.2).

$$s \leq s_{\max}$$

$$200.0 \text{ mm} \leq 300.0 \text{ mm} \quad \checkmark$$

El resultado pésimo se produce para las barras del siguiente grupo: Parrilla inferior - Barras paralelas X.

Donde:

s : Espaciamiento.

s_{\max} : Espaciamiento máximo.

$$s : \underline{200.0} \text{ mm}$$

$$s_{\max} : \underline{300.0} \text{ mm}$$

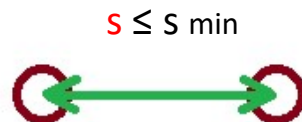
58.8

DIMENSIONES
Y ARMADURAS MÍNIMAS
DE ZAPATAS, ENCEPADOS
Y LOSAS DE CIMENTACIÓN

58.8.2

Disposición de armadura

La armadura dispuesta en las caras superior, inferior y laterales no distará más de 30 cm.



Verificaciones normativas

COMPROBACIONES DE DISPOSICIONES DE ARMADO

10.- RECUBRIMIENTOS

La instrucción establece unos recubrimientos mínimos de hormigón en función de la resistencia del mismo y de la clase de exposición (EHE-08, 37.2.4).

$$c \geq r_{nom} \quad 80.0 \text{ mm} \geq 80.0 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Donde:

c : Recubrimiento.

$$c : \frac{80.0}{\text{mm}}$$

r_{nom} : Recubrimiento nominal.

$$r_{nom} : \frac{80.0}{\text{mm}}$$

$$r_{nom} = r_{min} + \Delta r$$

Siendo:

r_{min} : Recubrimiento mínimo.

$$r_{min} : \frac{70.0}{\text{mm}}$$

Δr : Margen de recubrimiento del hormigón, en función del nivel de control de ejecución.

$$\Delta r : \frac{10.0}{\text{mm}}$$

Siendo:

Clase de exposición: IIa

f_{ck} : Resistencia característica del hormigón.

$$f_{ck} : \frac{25.00}{\text{N/mm}^2}$$

t_d : Vida útil de proyecto, en años.

$$t_d : \frac{50 \text{ años}}{\text{años}}$$

d_a : Tamaño máximo del árido.

$$d_a : \frac{15.0}{\text{mm}}$$

Cara	$r_{min,1}$ (mm)	$r_{min,2}$ (mm)	$r_{min,3}$ (mm)	$r_{min,4}$ (mm)	r_{min} (mm)	Δr (mm)	r_{nom} (mm)	c (mm)	Cumple
Superior	15.0	8.0	12.0	-	15.0	10.0	25.0	50.0	✓
Inferior	15.0	12.0	12.0	-	15.0	10.0	25.0	100.0	✓
Lateral	15.0	12.0	12.0	70.0	70.0	10.0	80.0	80.0	✓

37.2.4

Recubrimientos

El recubrimiento de hormigón es la distancia entre la superficie exterior de la armadura (incluyendo cercos y estribos) y la superficie del hormigón más cercana.

A los efectos de esta Instrucción, se define como recubrimiento mínimo de una armadura pasiva aquel que debe cumplirse en cualquier punto de la misma. Para garantizar estos valores mínimos, se prescribirá en el proyecto un valor nominal del recubrimiento r_{nom} , definido como:

$$r_{nom} = r_{min} + \Delta r$$

donde:

r_{nom} Recubrimiento nominal

r_{min} Recubrimiento mínimo

Δr Margen de recubrimiento, en función del nivel de control de ejecución, y cuyo valor será:

- 0 mm en elementos prefabricados con control intenso de ejecución
- 5 mm en el caso de elementos ejecutados *in situ* con nivel intenso de control de ejecución, y
- 10 mm en el resto de los casos

Verificaciones normativas

COMPROBACIONES DE DISPOSICIONES DE ARMADO

12.- LONGITUD DE ANCLAJE

Para barras en prolongación recta se debe cumplir (EHE-08, 69.5):

$$l_{disp} \geq l_{b, neta} \quad 300.0 \text{ mm} \geq 295.5 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Donde:

l_{disp} : Longitud de anclaje disponible.

$$l_{disp} : 300.0 \text{ mm}$$

$l_{b, neta}$: Longitud neta de anclaje.

$$l_{b, neta} : 295.5 \text{ mm}$$

$$l_{b, neta} = l_b \beta \frac{\sigma_{sd}}{f_{yd}} \quad \text{Siendo:}$$

l_b : Longitud básica de anclaje (Posición I)

$$l_b : 300.0 \text{ mm}$$

$$l_b = m \phi^2 \leq \frac{f_{yk}}{20} \phi$$

β : Factor de reducción tabla 69.5.1.2.b.

$$\beta : 1.0$$

σ_{sd} : Tensión de trabajo de la armadura que se

$$\sigma_{sd} : 394.05 \text{ N/mm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : 400.00 \text{ N/mm}^2$$

La longitud neta de anclaje definida en 69.5.1.2 y 69.5.1.4 no podrá adoptar valores inferiores al mayor de los tres siguientes:

- 10 ϕ ;
- 150 mm;
- La tercera parte de la longitud básica de anclaje para barras traccionadas y los dos tercios de dicha longitud para barras comprimidas.;

Elemento	m	ϕ (mm)	f_a (N/mm ²)	l_b (mm)	β	σ_{sd} (N/mm ²)	f_{td} (N/mm ²)	$l_{b, neta}$ (mm)	$l_{b, disp}$ (mm)	η	Cumple
1 - 2	1.5	12.0	500.00	300.0	1.0	391.14	400.00	293.4	300.0	0.98	✓
2 - 3	1.5	12.0	500.00	300.0	1.0	388.24	400.00	291.2	300.0	0.97	✓
3 - 4	1.5	12.0	500.00	300.0	1.0	391.11	400.00	293.3	300.0	0.98	✓
4 - 1	1.5	12.0	500.00	300.0	1.0	394.05	400.00	295.5	300.0	0.98	✓

69.5

CRITERIOS ESPECÍFICOS
PARA EL ANCLAJE
Y EMPALME DE LAS
ARMADURAS

69.5.1

Anclaje de las armaduras
pasivas

69.5.1.2

Anclaje de barras corrugadas

— Para barras en posición I:

$$l_{bl} = m \phi^2 \leq \frac{f_{yk}}{20} \phi$$

— Para barras en posición II:

$$l_{bII} = 1,4 m \phi^2 \leq \frac{f_{yk}}{14} \phi$$

donde:

ϕ Diámetro de la barra, en mm.

m Coeficiente numérico, con los valores indicados en la tabla 69.5.1.2.a en función del tipo de acero, obtenido a partir de los

Verificaciones normativas

ARMADURAS MÍNIMAS

9.- ARMADURA SECUNDARIA VERTICAL

Para resistir las tracciones debidas a la dispersión del campo de compresiones se dispondrá una armadura secundaria vertical que tendrá una capacidad mecánica total no inferior al valor $N_d/1.5 \cdot n$ con $n \geq 3$ (EHE-08, 58.4.1.2.2.2).

$$A_s \cdot f_{yd} \geq \frac{N_d}{1.5 \cdot n} \quad 764.04 \text{ kN} \geq 167.66 \text{ kN} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $1.6 \cdot PP + 1.6 \cdot CM + 1.6 \cdot Qa$.

Donde:

A_s : Área total de la armadura transversal repartida sobre la zona de dispersión del campo de compresiones.

$$A_s : \underline{1910.1} \text{ mm}^2$$

Se considerará como resistencia de cálculo del acero f_{yd} el valor (EHE-08, 38.3):

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \leq 400 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} : \underline{400.00} \text{ N/mm}^2$$

f_{yk} : Límite elástico característico

$$f_{yk} : \underline{500.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_s : Coeficiente parcial de seguridad definido en el Artículo 15º

$$\gamma_s : \underline{1.15}$$

N_d : Axil de cálculo del soporte.

$$N_d : \underline{1005.96} \text{ kN}$$

n : Número de pilotes.

$$n : \underline{4}$$

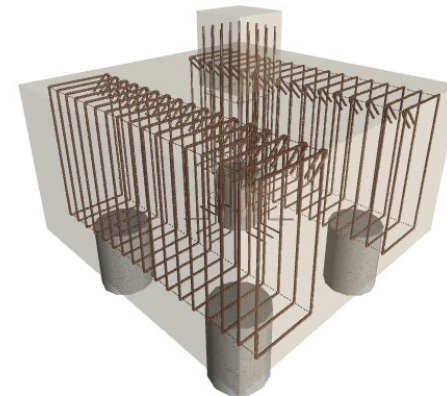
58.4.1.2.2.2

Armadura secundaria vertical

Para resistir las tracciones debidas a la dispersión del campo de compresiones se dispondrá una armadura secundaria vertical, figura 58.4.1.2.2.2, que tendrá una capacidad mecánica total no inferior al valor $N_d/1.5n$, con $n \geq 3$, siendo:

N_d Axil de cálculo del soporte.

n Número de pilotes.



Verificaciones normativas

ARMADURAS MÍNIMAS

11.- CAPACIDAD MECÁNICA DE LA PARRILLA INFERIOR

Se dispondrá una armadura secundaria en retícula cuya capacidad mecánica en cada sentido no será inferior a 1/4 la capacidad mecánica de la armadura principal inferior (EHE-08, 58.4.1.2.2.1).

$$A_{s,2,inf} \cdot f_{yd} \geq 0.25 \cdot A_{s,1,inf} \cdot f_{yd} \quad 1256.64 \text{ kN} \geq 90.48 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$A_{s,1,inf}$: Área de la sección de la armadura principal, situada en la cara inferior.

$$A_{s,1,inf} : 904.8 \text{ mm}^2$$

$A_{s,2,inf}$: Área de la sección de la armadura secundaria, situada en la cara inferior.

$$A_{s,2,inf} : 3141.6 \text{ mm}^2$$

Se considerará como resistencia de cálculo del acero f_{yd} el valor (EHE-08, 38.3):

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \leq 400 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} : 400.00 \text{ N/mm}^2$$

f_{yk} : Límite elástico característico

$$f_{yk} : 500.00 \text{ N/mm}^2$$

γ_s : Coeficiente parcial de seguridad definido en el Artículo 15º

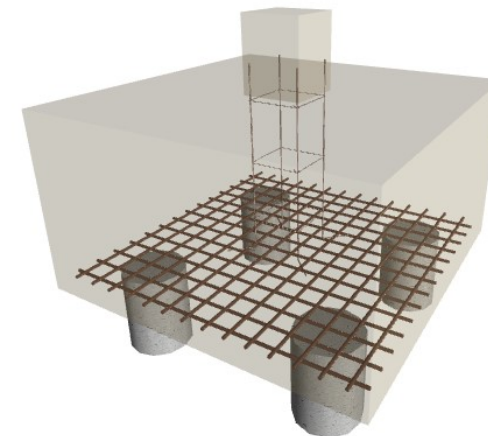
$$\gamma_s : 1.15$$

Sección	$A_{s,1,inf}$ (mm ²)	$A_{s,2,inf}$ (mm ²)	Cumple
Sección Y-Y	904.8	3141.6	✓
Sección X-X	904.8	3141.6	✓

58.4.1.2.2.1

Armadura principal y secundaria horizontal

Se dispondrá, además, una armadura secundaria en retícula cuya capacidad mecánica en cada sentido no será inferior a 1/4 de la capacidad mecánica de las bandas o fajas.



Verificaciones normativas

RESISTENCIA

13.- AGOTAMIENTO DEL TIRANTE

La tensión calculada en el tirante no ha de superar su capacidad resistente de cálculo (EHE-08, 40.2).

$$\sigma_{sd} \leq f_{yd} \quad 394.05 \text{ N/mm}^2 \leq 400.00 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

$$\sigma_{sd}: \text{Tensión calculada en el tirante} \quad \sigma_{sd} : 394.05 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{sd} = \frac{F_s}{A_s}$$

Siendo:

$$F_s: \text{Fuerza calculada en el elemento} \quad F_s : 178.27 \text{ kN}$$

$$A_s: \text{Área asignada al elemento} \quad A_s : 452.40 \text{ mm}^2$$

Se considerará como resistencia de cálculo del acero f_{yd} el valor (EHE-08, 38.3):

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \leq 400 \text{ MPa} \quad f_{yd} : 400.00 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yk}: \text{Límite elástico característico} \quad f_{yk} : 500.00 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_s: \text{Coeficiente parcial de seguridad definido en el Artículo 15}^\circ \quad \gamma_s : 1.15$$

Elemento	f_{yd} (N/mm ²)	A. real (mm ²)	A. nec. (mm ²)	F_s (kN)	σ_s (N/mm ²)	η_s	Cumple
1 - 2	400.00	452.40	442.38	176.95	391.14	0.978	✓
2 - 3	400.00	452.40	439.10	175.64	388.24	0.971	✓
3 - 4	400.00	452.40	442.35	176.94	391.11	0.978	✓
4 - 1	400.00	452.40	445.68	178.27	394.05	0.985	✓

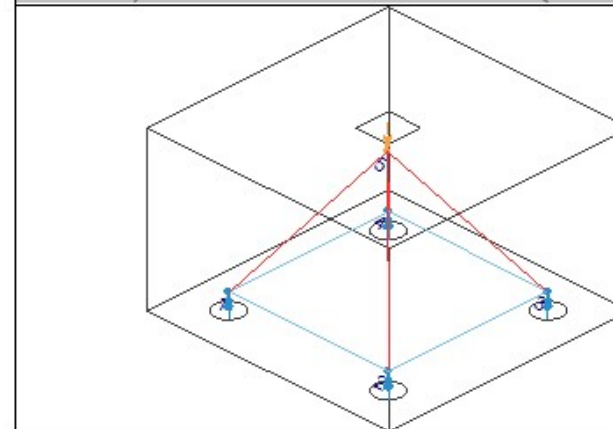
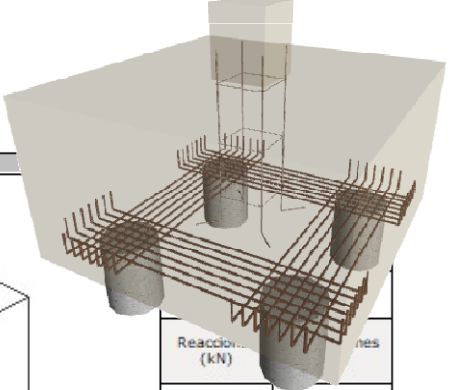
40.2

CAPACIDAD RESISTENTE DE LOS TIRANTES CONSTITUIDOS POR ARMADURAS

En Estado Límite Último se supondrá que la armadura alcanza la tensión de cálculo, es decir:

$$\text{— Para armaduras pasivas: } \sigma_{sd} = f_{yd}$$

Modelo de bielas y tirantes asociado a la combinación: "1.6-PP+1.6-CM+1.6-Qa"

Reacción (kN)	Reacciones
R1 = 253.37	P1 = 1005.96
R2 = 249.63	
R3 = 249.61	
R4 = 253.35	

Verificaciones normativas

RESISTENCIA

14.- AGOTAMIENTO DE LA BIELA

La compresión en la biela no ha de superar su capacidad (EHE-08, 40.3).

$$\sigma_{cd} \leq f_{1cd}$$

$$7.74 \text{ N/mm}^2 \leq 10.00 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

σ_{cd} : Tensión calculada en la biela

$$\sigma_{cd} : \underline{7.74} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{cd} = \frac{F_c}{A_c} \quad \text{Siendo:}$$

F_c : Fuerza calculada en el elemento

$$F_c : \underline{356.78} \text{ kN}$$

A_c : Área asignada al elemento

$$A_c : \underline{46114.81} \text{ mm}^2$$

f_{1cd} : Capacidad resistente de la biela (EHE-08, 40.3)

$$f_{1cd} : \underline{10.00} \text{ N/mm}^2$$

$$f_{1cd} = \beta \cdot f_{cd}$$

β : Coeficiente de capacidad resistente

$$\beta : \underline{0.60}$$

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$f_{cd} : \underline{16.67} \text{ N/mm}^2$$

α_{cc} : Factor que tiene en cuenta el cansancio del hormigón

$$\alpha_{cc} : \underline{1.00}$$

f_{ck} : Resistencia característica de proyecto

$$f_{ck} : \underline{25.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_c : Coeficiente parcial de seguridad

$$\gamma_c : \underline{1.50}$$

Elemento	A. real (mm ²)	A. nec. (mm ²)	F _c (kN)	σ_c (N/mm ²)	η_c	Cumple
5 - 1	46114.81	35678.00	356.78	7.74	0.774	✓
5 - 2	45957.61	35281.00	352.81	7.68	0.768	✓
5 - 3	45956.95	35279.00	352.79	7.68	0.768	✓
5 - 4	46114.15	35676.00	356.76	7.74	0.774	✓

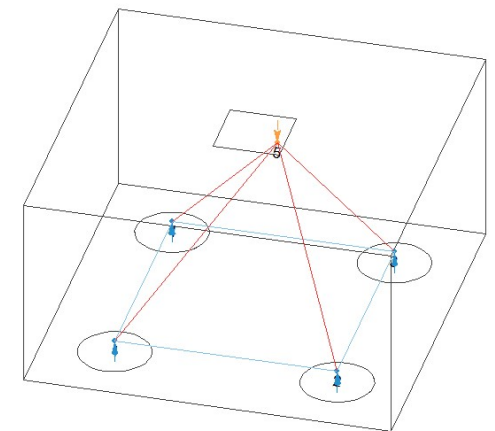
40.3.2

Bielas de hormigón con fisuración oblicua o paralela a la biela

De forma simplificada, se puede definir la capacidad resistente del hormigón en estos casos, de la siguiente forma:

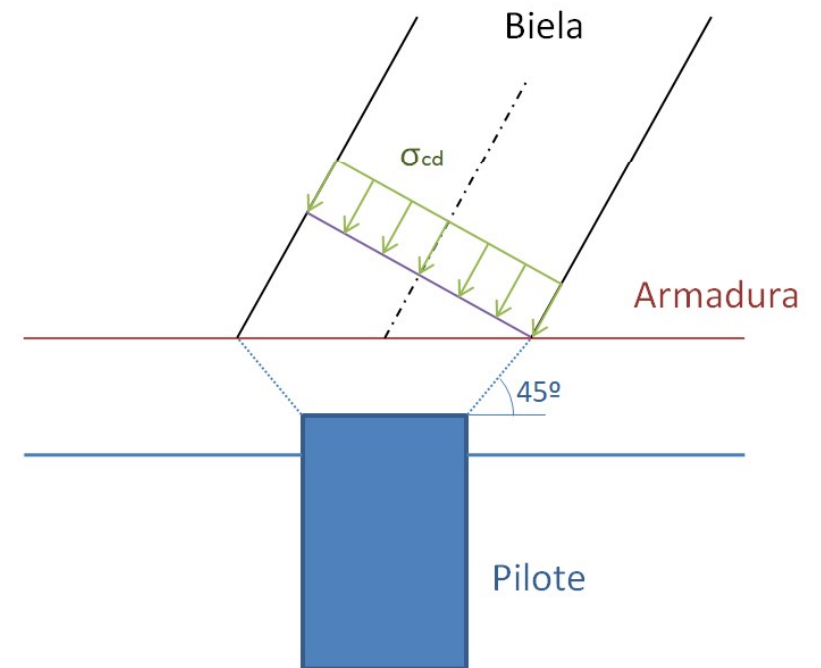
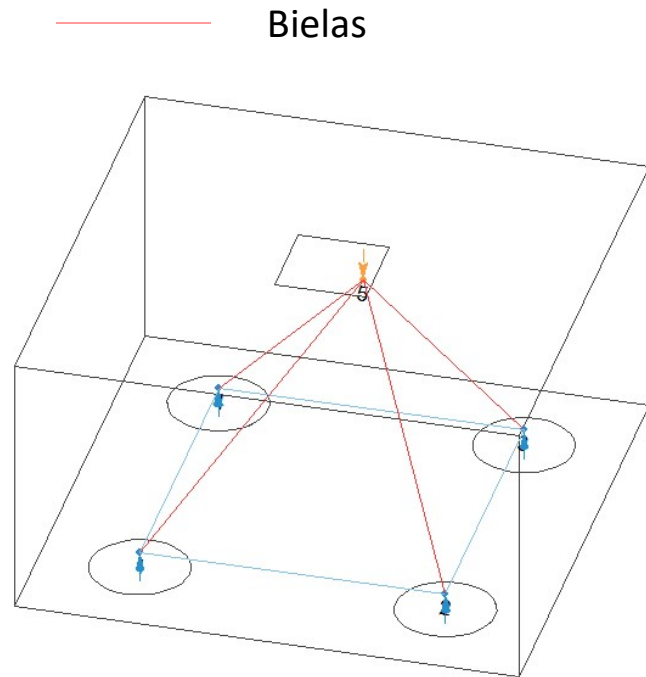
- Cuando las bielas transmiten compresiones a través de fisuras de abertura controlada por armadura transversal suficientemente anclada (este es el caso del alma de vigas sometidas a cortante).

$$f_{1cd} = 0,60f_{cd}$$



Verificaciones normativas

RESISTENCIA



Verificaciones normativas

RESISTENCIA

15.- NUDOS

Los nudos deben estar concebidos, dimensionados y armados de tal forma que todos los esfuerzos actuantes estén equilibrados y los tirantes convenientemente anclados (EHE-08, 40.4.1).

$$\sigma_{cd} \leq f_{2cd}$$

$$9.92 \text{ N/mm}^2 \leq 16.67 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

σ_{cd} : Tensión de compresión en el hormigón.

$$\sigma_{cd} = \frac{F_{cd}}{A_c}$$

F_{cd} : Fuerza que actúa en el nudo (UNE-EN 1992-1-1:2010, 6.5.4) $F_{cd} : 464.21 \text{ kN}$

A_c : Área de la sección transversal del hormigón (UNE-EN 1992-1-1:2010, 6.5.4). $A_c : 46817.8 \text{ mm}^2$

Nudos multicomprimidos (EHE-08, 40.4.2).

En nudos que conectan sólo bielas comprimidas:

$$f_{2cd} = f_{cd}$$

$$f_{2cd} : 16.67 \text{ N/mm}^2$$

Se considerará como resistencia de cálculo del hormigón en compresión el valor

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$f_{cd} : 16.67 \text{ N/mm}^2$$

α_{cc} : Factor que tiene en cuenta el cansancio del hormigón

$$\alpha_{cc} : 1.00$$

f_{ck} : Resistencia característica de proyecto

$$f_{ck} : 25.00 \text{ N/mm}^2$$

γ_c : Coeficiente parcial de seguridad

$$\gamma_c : 1.50$$

40.4

CAPACIDAD RESISTENTE DE LOS NUDOS

40.4.2

Nudos multicomprimidos

En nudos que conectan sólo bielas comprimidas (ver figuras 40.4.2.a y 40.4.2.b) se presenta normalmente un estado tensional multicomprimido que permite aumentar la capacidad resistente a compresión del hormigón de acuerdo con los criterios siguientes:

$$f_{2cd} = f_{cd}$$

40.4.3

Nudos con tirantes anclados

La capacidad resistente a compresión en este tipo de nudos es:

$$f_{2cd} = 0.70 f_{cd}$$

Verificaciones normativas

RESISTENCIA

17.- CAPACIDAD PORTANTE DEL PILOTE

Se debe satisfacer:

$$N_{Ed,s} \leq N_{Rd,s}$$

Donde:

$N_{Ed,s}$: Esfuerzo normal máximo en servicio.

$N_{Rd,s}$: Axil máximo resistido.


Situación	Combinación de acciones	N _{Ed,s} (kN)	N _{Ed,s} (kN)	Cumple
Persistentes o transitorias	PP+CM+Qa	159.77	200.00	✓

Editar [Pilote]

Referencia

Tipo de pilote

Diámetro mm

☐ Con símbolo 

Capacidad portante del pilote

Situaciones persistentes kN

Situaciones sísmicas y accidentales kN

Separación mínima entre ejes mm

Verificaciones normativas


CAPACIDAD PORTANTE DEL PILOTE

Editar - [Pilote]

Referencia:

Tipo de pilote:

Diámetro: mm

☐ Con símbolo 

Capacidad portante del pilote

Situaciones persistentes: kN

Situaciones sísmicas y accidentales: kN

Separación mínima entre ejes: mm

Documento Básico SE-C Cimientos

5.3.8 Consideraciones estructurales

5.3.8.1 Tope estructural

$$Q_{\text{tope}} = \sigma \cdot A$$

siendo

σ la tensión del pilote (tabla 5.1)

A el área de la sección transversal

Tabla 5.1. Valores recomendados para el tope estructural de los pilotes

Procedimiento	Tipo de pilote	Valores de σ (Mpa)	
Hincados	Hormigón pretensado o postesado	0,30 ($f_{ck} - 0,9 f_p$)	
	Hormigón armado	0,30 f_{ck}	
	Metálicos	0,30 f_{yk}	
	Madera	5	
		Tipo de apoyo	
		Suelo firme	Roca
Perforados ⁽¹⁾	Entubados	5	6
	Lodos	4	5
	En seco	4	5
	Barrenados sin control de parámetros	3,5	-
	Barrenados con control de parámetros	4	-

⁽¹⁾ Con un control adecuado de la integridad, los pilotes perforados podrán ser utilizados con topes estructurales un 25% mayores.

Verificaciones normativas

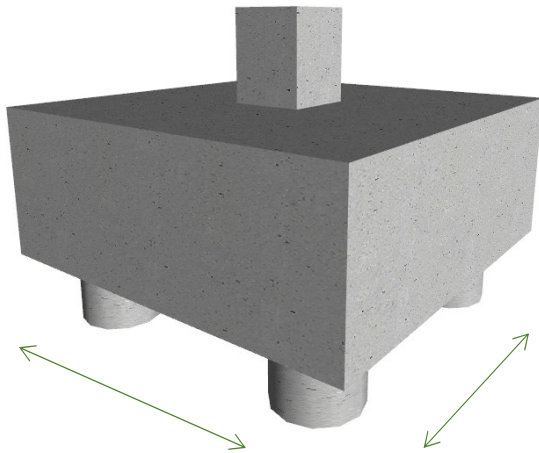
EFFECTO GRUPO

16.- CONSIDERACIONES DEL EFECTO GRUPO

De forma general, para el cálculo de los pilotes, no se considerará el efecto grupo para una separación entre ejes de pilotes igual o mayor a 3 diámetros (CTE DB-SE-C, 5.3.4.1.4).

$$1500.0 \text{ mm} \geq 750.0 \text{ mm} \quad \checkmark$$

$$\begin{aligned} \text{Separación entre ejes de pilotes} &: 1500.0 \text{ mm} \\ \text{Diámetro del pilote} &: 250.0 \text{ mm} \end{aligned}$$



Documento Básico SE-C Cimientos

5.3.4 Carga de hundimiento

5.3.4.1.4 Consideraciones del efecto grupo

- 1 De forma general, para el cálculo de los pilotes, no se considerará el efecto grupo para una separación entre ejes de pilotes igual o mayor a 3 diámetros.
- 2 A partir de grupos de 4 pilotes se debe considerar que la proximidad entre los pilotes se traduce en una interacción entre ellos, de tal forma que si el grupo tiene n pilotes, y la carga de hundimiento del pilote aislado es R_{ck} , la carga que produce el hundimiento del grupo, R_{ckg} , en general, no suele ser igual a $n \cdot R_{ck}$, al tener que aplicar a este valor, $n \cdot R_{ck}$, un coeficiente de eficiencia, η , que se define como el cociente:

$$\eta = \frac{\text{Carga de hundimiento del grupo}}{n \cdot \text{Carga hundimiento del pilote individual}} = \frac{R_{ckg}}{n \cdot R_{ck}} \quad (5.13)$$

Siendo n el numero de pilotes