ANEJO 3.3: CÁLCULO ESTRUCTURAL. CIMENTACIÓN.

Índice de contenido

1. Objeto 3
2. Bases de cálculo 3
3. Materiales estructurales 3
4. Acciones de cálculo 4
5. Combinaciones de acciones 4
6. Descripción de la cimentación 4
7. Comprobaciones para la losa de cimentación 4
7.1 Comprobación del hundimiento 5
7.2 Cálculo de la armadura de la losa 8
7.3 Cálculo de la placa de anclaje a utilizar y de la unión de los pilares a la cimentación. 11
8. Resultados 13

Índice de Tablas

Tabla 1: Propiedades del HA-25 3
Tabla 2: Propiedades del acero S275 3
Tabla 3: Propiedades del acero B 500 S 4
Tabla 4: Cuantías geométricas mínimas, en tanto por 1000, referidas a la sección total de hormigón 8
Tabla 5: Armaduras a disponer en cada dirección 9

1. Objeto

El objeto de este documento es abordar el cálculo de la cimentación de la estructura, incluyendo tanto la cimentación como placas de anclaje.

2. Bases de cálculo

Se listan en primer lugar las normativas empleadas en el diseño y cálculo de las uniones de la estructura.

- UNE-EN 1992-1-1:2013
- Código Estructural
- UNE-EN 1993-1-1:2013
- UNE-EN 1994-1-1:2013
- Guía de cimentaciones en obras de carretera (2009)
- CTE DBSE-C

3. Materiales estructurales

Se proporciona en las siguientes tablas (1, 2, 3) las características principales de los materiales empleados en la cimentación y en los elementos que conectan de manera directa con ella.

- Hormigón armado HA-25

Parámetro	Valor	Uds
Módulo de elasticidad E	32035	N/mm²
Módulo de rigidez G	13148	N/mm²
Coeficiente de Poisson n	0,2	
Peso específico γ	2500	kg/m³
Coeficiente de expansión térmica α	5,5E-06	1º/C
Resistencia característica f_{ck}	25	N/mm²
Tensión de rotura f_u	$360<f_u<510$	N/mm²

Tabla 1. Propiedades del HA-25.

- Acero S 275

Parámetro	Valor	Uds
Módulo de elasticidad E	210000	N/mm²
Módulo de rigidez G	81000	N/mm²
Coeficiente de Poisson n	0,3	
Peso específico γ	7850	kg/m³
Coeficiente de expansión térmica α	1,2E-05	1º/C
Límite elástico f_y	275	N/mm²
Tensión de rotura f_u	$430<f_u<580$	N/mm²

Tabla 2. Propiedades del acero S275.

- Acero B 500 S

Parámetro	Valor	Uds
Módulo de elasticidad E	210000	N/mm²
Módulo de rigidez G	81000	N/mm²
Coeficiente de Poisson n	0,3	
Peso específico γ	7850	kg/m³

Coeficiente de expansión térmica α	1,2E-05	1º/C
Límite elástico f_y	550	N/mm²
Tensión de rotura f_u	550	N/mm²

Tabla 3. Propiedades del acero B 500 S.

4. Acciones de cálculo

Las acciones de cálculo han sido descritas previamente en el Anejo 2.1: Cálculo estructural. Estructura principal.

5. Combinaciones de acciones

Las combinaciones de acciones han sido descritas previamente en el Anejo 2.1: Cálculo estructural. Estructura principal.

6. Descripción de la cimentación

Se decide emplear una losa de canto variable para ejecutar la cimentación de la estructura. La motivación principal para hacerla de canto variable es emplear un volumen total de hormigón armado inferior al que se emplearía si toda la cimentación se proyectase con el mismo espesor que posee la zona de mayor canto. Esta reducción de volumen implica un ahorro en el empleo de materiales, tanto económico con ambiental. Posteriormente en este documento se presentan valores de la reducción en kg de CO_2 emitidos para la solución final de la cimentación en comparación con la solución de losa de espesor constante.
El criterio de diseño seguido para la losa se basa en emplear un canto para el perímetro de la misma, en el cual se encuentran los apoyos de los pilares de la estructura, y un canto diferente para lo que se define como zona central de la losa. La propia losa sirve también como solera de cimentación, la cual hubiese sido necesaria añadir en caso de haber empleado una solución con zapatas aisladas y vigas centradoras.

7. Comprobaciones para la losa de cimentación

Para el cálculo de la cimentación de la estructura es necesario conocer el valor de los siguientes parámetros del terreno y de los apoyos.

- Reacciones en los apoyos para las situaciones de cálculo más desfavorables a considerar: Se elabora un documento en Excel con las reacciones en cada apoyo para las combinaciones de carga más desfavorables. Estas reacciones deberán importarse dentro del programa de cálculo con el que se vaya a diseñar la cimentación.
- Resistencia del terreno: esta resistencia depende del tipo de suelo sobre el que se ejecute la cimentación, y para el caso que se está estudiando, la **presión admisible del terreno** es de **1 kp/cm²**, equivalente a 98’066 kPa. Se trata este de un terreno de consistencia blanda. Este valor de la presión admisible del terreno es frecuente para suelos cohesivos arcillosos firmes, que tienen una resistencia última en torno a los 100 kN/m².
- Otro parámetro que se debe tener en cuenta en el cálculo es el coeficiente de balasto del terreno, k_b. El coeficiente de balasto para un suelo cohesivo firme, de acuerdo a los valores proporcionados en la tabla 4.3 “Propiedades típicas comparadas de terrenos cohesivos y arenosos” de la sección 4.3.1 de “Cálculo de elementos estructurales” de la Universidad Politécnica de Catalunya tiene un

valor de k_b = 2,5 kp/cm³ = 24,52 MN/m³. El CTE-C proporciona un valor K_{30} = 15-30 MN/m³, para arenas flojas. El valor del coeficiente de balasto para una cimentación por losa se ajusta mediante el uso de la siguiente expresión:

$$K_L = \frac{2}{3} K_b \left(1 + \frac{B}{2L}\right)$$

De la expresión anterior, el parámetro 'B' es el ancho de la losa, que se ha considerado de 30,9 m, y el parámetro 'L' es la longitud de ésta, considerada de valor 53 m. El valor del coeficiente ajustado es K_L=21,062 MN/m³.

7.1 Comprobación del hundimiento

Los parámetros principales para efectuar la comprobación de hundimiento son la tensión admisible (σ_{adm}), la carga de hundimiento (q_h), y el factor de seguridad. El valor de la tensión admisible es de 98,1 kN/m².

El estado límite de hundimiento (ELU) queda comprobado cuando se verifica la siguiente condición:

$V_d \leq R_d$

Donde V_d es el valor de cálculo de las fuerzas verticales transmitidas al terreno. Este valor debe incluir el peso de la cimentación. Las fuerzas verticales se obtienen a partir del modelo realizado en SAP2000, en el que se incluyen todas las acciones relevantes para el cálculo. R_d es la resistencia del terreno frente al hundimiento.

Para el cálculo del área efectiva de la losa definida como A' =B'·L' se considera, de manera simplificada, que el área efectiva coincide con el área nominal de la losa. Esta consideración se efectúa en base al diseño de los nudos de unión de los pilares de la estructura a la cimentación. B es la menor dimensión en planta de la cimentación, de valor 30,9 m. L es la mayor dimensión en planta de la cimentación, de valor 53 m. Conocidos estos dos valores, el valor del área nominal es 1637,7 m². La figura 1 muestra el modelo de losa (mallado empleado y visualización extruida). Para el modelado se emplean elementos de tipo "shell thick", que se consideran suficientemente adecuados para representar el comportamiento de una losa de estas características y espesores. La interacción suelo-estructura se modela mediante el uso de muelles de área (area springs) en base al valor del coeficiente de balasto del terreno. Las cargas se introducen o bien en los nudos correspondientes a la base de los pilares de la estructura o bien como una carga superficial repartida y aplicada sobre los elementos de superficie.

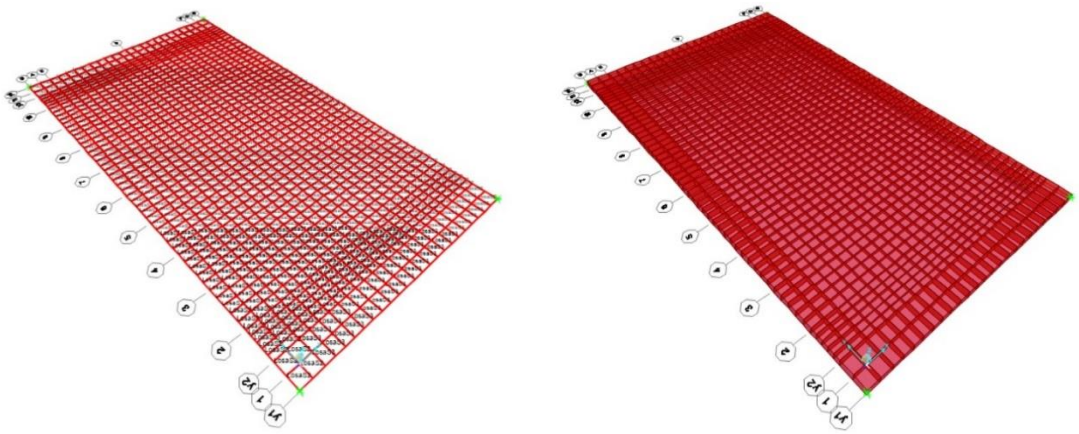


Fig 1. Modelo de losa de canto variable. Vista de mallado (izquierda) y vista extruida (derecha). Fuente: Propia.

A partir del modelo realizado en SAP2000, se obtiene que la mayor carga vertical transmitida al terreno, para las combinaciones de Estado Límite Último, es de 43420,59 kN. El valor de Vd se obtiene al dividir esta carga entre el área total de la cimentación (B·L). Este valor es 26,51 kN/m².

La carga de hundimiento, a la que nos referimos como q_h es la carga o tensión en el terreno a partir de la cual este no puede soportar las tensiones transmitidas. Para el cálculo de esta se emplea la siguiente expresión:

$$q_h = \gamma\, D\, N_q + 0{,}5\ \gamma\, B\, N_\gamma$$

Los términos de la expresión anterior se definen a continuación. γ es el peso unitario del terreno sobre el que se ejecuta la cimentación. El valor de este parámetro es de 17 kN/m³; *D* es la profundidad a la base del cimiento. Debido a que existen dos espesores de losa diferentes, se emplea para el cálculo el menor de ellos, ya que proporciona un valor más restrictivo de la carga de hundimiento. Por tanto, el valor de *D* es de 0,5 m; Los valores de N_c, N_q, N_γ se obtienen en función del ángulo de rozamiento del terreno (φ = 33º). Los valores de estos parámetros son N_c = 38, N_q = 28, N_γ = 28. Sustituyendo todos estos valores en la expresión anterior se obtiene una carga de hundimiento q_h = 7830,2 kN/m².

Si se compara V_d con el valor de la tensión admisible (σ_{adm}) se obtiene el siguiente factor de seguridad.

FS = σ_{adm} / V_d = 98,1 / 26,51 = 3,7

Se realiza una segunda verificación en relación a la tensión admisible del terreno, motivada por la forma singular de la losa de cimentación, al no tratarse de una losa plana convencional. En esta verificación se busca, para combinaciones ELU, el mayor desplazamiento vertical que haya experimentado la losa. La tensión en el contacto entre la base de la cimentación y el terreno se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$\sigma = \delta\, K_b$$

Los términos de la expresión anterior son el desplazamiento experimentado δ, expresado en m y el coeficiente de balasto K_b, expresado en kN/m³. Conociendo que el valor del coeficiente de balasto es K_b = 21062 kN/m³ y que el mayor desplazamiento experimentado por un nudo de la cimentación es 0,002378 m, se obtiene un valor de tensión σ = 50,08 kN/m². Este valor también es inferior a la tensión admisible del terreno σ_{adm}, verificándose por tanto la condición de seguridad.

Debido a la complejidad asociada al cálculo del asiento y a los múltiples factores que influyen en la obtención de un resultado exacto del mismo se decide emplear la expresión simplificada propuesta en la figura 4.11 de la *Guía de cimentaciones en obras de carreta.* Los parámetros que forman parte de la expresión se describen a continuación.

$$s = \frac{V(1-\nu^2)}{1{,}25\, E\, \sqrt{B\, L}}$$

V es la carga vertical actuante en el centro de la cimentación. Para calcularla se consideran principalmente dos acciones, siendo estas la sobrecarga de uso, con un valor de 5 kN/m², y el peso propio de la losa en la zona central de la losa. Para un peso

específico del hormigón armado de 25 kN/m² y un espesor de losa de 0,5 m, la carga por unidad de área de la losa es de 12,5 kN/m². El valor de V se obtiene como el sumatorio de las cargas actuantes multiplicadas por el área de la cimentación, de ancho B = 24,9 m y L = 47 m.

V = 20480,25 kN

El valor del coeficiente de Poisson ν, para el suelo sobre el que se ejecuta la cimentación es 0,25.

El módulo de Young del terreno E tiene un valor de 20000 kN/m².

Determinados todos estos parámetros, se obtiene un valor del asiento s = 0,0224 m = 2,2 cm.

En la figura 4.10 de la *Guía de cimentaciones en obras de carreta* se proporciona una expresión para el cálculo del asiento bajo el centro de una cimentación rectangular flexible. La expresión que se emplea para el cálculo de este asiento es la siguiente.

$$s = \frac{2}{\pi} R \frac{p\,(1 - \nu^2)}{E}$$

El parámetro R se calcula mediante la siguiente expresión:

$$R = B\ argsh\left(\frac{L}{B}\right) + L\ argsh\left(\frac{B}{L}\right)$$

Se denomina como y_1 a argsh(L/B*)*. Se utiliza y_2 para referirse a argsh(B/L). Ambos parámetros se calculan a continuación.

$$y_1 = \ln\left(x + \sqrt{x^2 + 1}\right)$$

$$y_1 = \ln\left(\frac{47}{24{,}9} + \sqrt{\left(\frac{47}{24{,}9}\right)^2 + 1}\right) = 1{,}3921$$

$$y_2 = \ln\left(x + \sqrt{x^2 + 1}\right)$$

$$y_2 = \ln\left(\frac{24{,}9}{47} + \sqrt{\left(\frac{24{,}9}{47}\right)^2 + 1}\right) = 0{,}5076$$

Sustituyendo en la expresión del parámetro R se obtiene un valor de este de 58,52.

El valor de la carga por unidad de área p se obtiene como p = 25·0,5 + 5 = 17,5 kN/m².

Finalmente se obtiene s = 0,03 m = 3 cm. Se emplea este asiento en lugar del obtenido mediante la formulación anterior por tratarse de un asiento superior y más restrictivo. En el apartado 4.8.5 de la *Guía de cimentaciones en obras de carreta* se proporciona una recomendación sobre el asiento máximo en losas de cimentación, que debe ser de 5 cm. Se considera suficiente la verificación de asientos al ser los valores calculados mediante los procedimientos presentados en la guía inferiores al valor máximo recomendado para el asiento en losas.

7.2 Cálculo de la armadura de la losa

Para el cálculo de la armadura de la losa se emplea el artículo 58 de la EHE-08. El cálculo de la armadura longitudinal de la losa debe cumplir las especificaciones que se establecen en el artículo 42 de la misma normativa. La tabla 42.3.5 del mismo artículo proporciona las cuantías geométricas mínimas a disponer en tanto por 1000 de la sección total de hormigón de la losa. Dicha tabla se presenta a continuación:

Tipo de elemento estructural		Tipo de acero	
		Aceros con f_y = 400 N/mm²	Aceros con f_y = 500 N/mm²
Pilares		4,0	4,0
Losas[1]		2,0	1,8
Forjados unidireccionales	Nervios[2]	4,0	3,0
	Armadura de reparto perpendicular a los nervios[3]	1,4	1,1
	Armadura de reparto paralela a los nervios[3]	0,7	0,6
Vigas[4]		3,3	2,8
Muros[5]	Armadura horizontal	4,0	3,2
	Armadura vertical	1,2	0,9

Tabla 4. Cuantías geométricas mínimas, en tanto por 1000, referidas a la sección total de hormigón. Fuente: EHE-08.

Se calcula inicialmente, de acuerdo a los valores proporcionados en la tabla anterior, la cuantía mínima de armadura a disponer. El acero que se emplea para las armaduras es un B 500 S. Debido a la existencia de dos cantos diferentes en la losa, la cuantía mínima a disponer es diferente. Se calcula por tanto la cuantía correspondiente a cada una de estas zonas, considerando una sección de 1000 mm de ancho y un canto de 900 mm o de 400 mm.

Cuantía mínima para la zona perimetral de la losa:

$$\rho = 0{,}0018 = \frac{A_s}{1000 \cdot 900}$$

$$A_s = 1620\ mm^2/m$$

Cuantía mínima para la zona central de la losa:

$$\rho = 0{,}0018 = \frac{A_s}{1000 \cdot 400}$$

$$A_s = 720\ mm^2/m$$

De acuerdo a lo especificado en la normativa para losas, las cuantías calculadas son la mínima de cada una de las armaduras, longitudinal y transversal, repartida en las dos caras. Por tanto la armadura mínima en una solo cara es A_s = 810 mm²/m para la zona perimetral de la losa y A_s = 360 mm²/m. Se calculan ahora los momentos límite para cada una de las dos secciones anteriores.

Momento límite para la zona perimetral de la losa:

$$u_0 = f_{cd}\ b\ d = \frac{25}{1{,}5} \cdot 1000 \cdot (900 - 70) \cdot 10^{-3} = 13833{,}3\ kN$$

$$M_{lim} = 0{,}375\ u_0\ d = 0{,}375 \cdot 13833{,}3 \cdot (0{,}9 - 0{,}07) = 4305{,}6\ kN \cdot m$$

Momento límite para la zona central de la losa:

$$u_0 = f_{cd}\, b\, d = \frac{25}{1{,}5} \cdot 1000 \cdot (400 - 70) \cdot 10^{-3} = 5500\, kN$$

$$M_{lim} = 0{,}375\, u_0\, d = 0{,}375 \cdot 5500 \cdot (0{,}4 - 0{,}07) = 680{,}6\, kN \cdot m$$

Se calcula adicionalmente la armadura mínima mecánica para las dos zonas

Armadura mínima mecánica zona perimetral de la losa:

$$A_s \geq 0{,}04\, A_c\, \frac{f_d}{f_{yd}} = 0{,}04 \cdot 1000 \cdot 900 \cdot \frac{\left(\frac{25}{1{,}5}\right)}{\left(\frac{500}{1{,}15}\right)} = 1380 \frac{mm^2}{m}$$

Armadura mínima mecánica zona central de la losa:

$$A_s \geq 0{,}04\, A_c\, \frac{f_d}{f_{yd}} = 0{,}04 \cdot 1000 \cdot 400 \cdot \frac{\left(\frac{25}{1{,}5}\right)}{\left(\frac{500}{1{,}15}\right)} = 613{,}3 \frac{mm^2}{m}$$

Para el cálculo de la armadura resulta necesario determinar los momentos de cálculo en cada dirección de la losa (para cada zona). Los momentos de cálculo se obtienen del modelo realizado y procesado en el software de cálculo. Para la zona perimetral de la losa se obtienen los siguientes momentos de cálculo: Momento de cálculo en la dirección "x" M_{d1} = 71,9 kNm; Momento de cálculo en la dirección "y" M_{d2} = 76,6 kNm. Se emplea para el cálculo un prontuario informático de hormigón armado elaborado como una hoja de cálculo. Para la determinación de la armadura se emplean las siguientes expresiones:

$$u_{s1} = u_0 \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\, M_d}{u_0\, d}}\right)$$

$$A_{s1} = \frac{u_{s1}}{f_{yd}}$$

El valor calculado de A_{s1} para M_{d1} = 71,9 kNm es 200 mm²/m. Este valor es inferior a la armadura mínima calculada mediante la norma, por lo tanto se adoptará esta como armadura a disponer.

La siguiente tabla resume las armaduras calculadas en cada cara y cada dirección según la zona de la losa y del momento de cálculo, proporcionando también el número de redondos y diámetro de los mismos para cada una.

	Zona central		Zona perimetral	
	M_{d1} (kNm)	*M_{d2} (kNm)*	*M_{d1} (kNm)*	*M_{d2} (kNm)*
	34	19,7	71,9	76,6
A_{s1} (mm²/m)	360	360	810	810
	5ø12	5ø12	8ø12	8ø12
A_{s2} (mm²/m)	360	360	810	810
	5ø12	5ø12	8ø12	8ø12

Tabla 5. Armaduras a disponer en cada dirección. Fuente: propia.

Para mantener la continuidad de la armadura superior entre la zona central y la zona perimetral se decide sustituir 3 de los 8ø12 por 5ø10 como armadura superior de refuerzo, de manera que exista continuidad para la armadura de 5ø12 en toda la cara superior de la losa.

Adicionalmente se realiza la comprobación de punzonamiento en las zonas correspondientes a las bases de los pilares, tanto interiores como de esquina en los pórticos extremos. La comprobación de punzonamiento se realiza de acuerdo al apartado 6.4 del Código Estructural.

El canto útil de la losa d_{eff} se determina de la siguiente manera:

$$d_{eff} = \frac{d_y + d_z}{2} = \frac{0{,}83 + 0{,}83}{2} = 0{,}83\ m$$

La comprobación principal a realizar para determinar si resulta o no necesario disponer de armadura de punzonamiento es la siguiente:

$$v_{Ed} \leq v_{Rd,c}$$

La comprobación, como se ha descrito previamente, se realiza para un pilar interior (de borde) y para un pilar de un pórtico extremo (de esquina). La carga que actúa sobre estos es $V_{Ed,i}$ = 220,61 kN para un pilar interior y $V_{Ed,e}$ = 135,20 kN. Para determinar el esfuerzo de punzonamiento provocado por estas cargas resulta necesario determinar la longitud del perímetro de control u_i para ambos casos. Para un pilar interior se determina como $u_{1,i}$ =2(L_1 + 0,5 + L_1) + 2(0,25 + 2d + 2d) = 2(1,25 + 0,5 + 1,25) + 2(0,25 +2·0,83 + 2·0,83) = 13,14 m. Para el pilar del pórtico exterior es $u_{1,e}$ =2(L_1 + 0,5 + L_1) + 2(0,25 + L_2 + 2d) = 2(1,25 + 1,25 + 0,5) + 2(0,25 +1,375 + 2·0,83) = 12,57 m. El esfuerzo de punzonamiento en la losa de cimentación para cada pilar es:

$$v_{Ed,i} = \frac{V_{Ed,i}}{u_{1,i}\ d} = \frac{220{,}61 \cdot 10^{-3}}{13{,}14 \cdot 0{,}83} = 0{,}02022 \frac{N}{mm^2}$$

$$v_{Ed,i} = \frac{V_{Ed,i}}{u_{1,i}\ d} = \frac{220{,}61 \cdot 10^{-3}}{13{,}14 \cdot 0{,}83} = 0{,}02022 \frac{N}{mm^2}$$

Se determina a continuación el valor de cálculo de la resistencia a punzonamiento de la losa mediante la expresión:

$$v_{Rd,C} = C_{Rd,c}\ k\ (100\ \rho_l\ f_{ck})^{1/3} \geq v_{min}$$

$$v_{Rd,C} = \frac{0{,}18}{1{,}5}\left(1 + \sqrt{\frac{200}{900 - 70}}\right)(100 \cdot 0{,}0018 \cdot\ 25)^{1/3} = 0{,}29536\ N/mm^2$$

$$v_{min} = 0{,}035\ k^{\frac{3}{2}}\ f_{ck}^{\frac{1}{2}}$$

$$v_{min} = 0{,}035\left(1 + \sqrt{\frac{200}{900 - 70}}\right)^{\frac{3}{2}}\ 25^{1/2} = 0{,}3185\ N/mm^2$$

De acuerdo a los resultados, se obtiene que $\nu_{Rd,C} = \nu_{min}$, y la condición resistente establecida se cumple, no resultando necesaria por tanto la armadura de punzonamiento.

Para calcular las longitudes de anclaje y de empalme de las armaduras se emplea el apartado 49.5 del Código Estructural. La longitud básica de anclaje simplificada se obtiene de acuerdo a las expresiones proporcionadas en el apartado 49.5.1.2 de dicha normativa:

- Longitud básica de anclaje para barras en posición I:
  $l_{bI} = m\ ø^2 = 1{,}5 \cdot 12^2 = 216\ mm$
- Longitud básica de anclaje para barras en posición II
  $l_{bII} = 1{,}4\ m\ ø^2 = 1{,}4 \cdot 1{,}5 \cdot 12^2 = 302{,}4\ mm$

El coeficiente numérico “m” se obtiene de la tabla 49.5.1.2.a del Código Estructural, que proporciona un valor de m = 1,5 para un hormigón de resistencia característica 25 N/mm² y una armadura B 500 S.

Por tratarse de una zona sísmica en la que los efectos dinámicos no pueden ser despreciados, las longitudes de anclaje previamente calculadas deben aumentarse en 10ø.

- Longitud básica de anclaje para barras en posición I:
  $l_{bI} = m\ ø^2 + 10ø = 1{,}5 \cdot 12^2 + 10 \cdot 12 = 336\ mm$
- Longitud básica de anclaje para barras en posición II
  $l_{bII} = 1{,}4\ m\ ø^2 + 10ø = 1{,}4 \cdot 1{,}5 \cdot 12^2 + 10 \cdot 12 = 422{,}4\ mm$

La longitud de empalme por solapo se calcula de acuerdo al apartado 49.5.2.2 del Código Estructural.

- Longitud de solapo para barras en posición I:
  $l_{SI} = \alpha\ l_{bI} = 1{,}3 \cdot 336 = 436{,}8\ mm$
- Longitud de solapo para barras en posición II
  $l_{SI} = \alpha\ l_{bII} = 1{,}3 \cdot 422{,}4 = 549{,}12\ mm$

7.3 Cálculo de la placa de anclaje a utilizar y de la unión de los pilares a la cimentación.

El tipo de nudo que se pretende diseñar como base de los pilares de la estructura es uno tipo articulación mediante pasador o bulón, compuesto por tres chapas, de las cuales una parte desde la placa base que conecta a la cimentación. La dirección del eje del bulón es coincidente con la del eje perpendicular al plano del pórtico. Se calcula la unión mediante el bulón, definiendo también los espesores de las chapas que la conforman. La comprobación resistente se realiza de acuerdo al apartado 3.13 (Uniones con bulones) del Código Estructural. Este tipo de unión trabajará principalmente a cortante.

El esfuerzo de cálculo empleado es el mayor que llegaría al bulón. El valor de este esfuerzo es F_{ed} = 220,61 kN, para la base de un grupo de pilares en la resultante de combinaciones ELU. Se determina en primer lugar el espesor de la chapa central de la unión:

$$t \geq 0{,}7 \cdot \sqrt{\frac{F_{ed}\,\gamma_{M0}}{f_y}} = 0{,}7 \cdot \sqrt{\frac{220{,}61 \cdot 10^3 \cdot 1{,}05}{275}} = 20{,}316\,mm$$

Se decide tomar un espesor de placa de 25 mm para hacer empleo de placas con espesores comerciales. El diámetro del taladro del bulón debe cumplir la siguiente condición:

$$d_0 \leq 2{,}5\,t = 2{,}5 \cdot 25 = 62{,}5\,mm$$

Se toma un diámetro de taladro de bulón d_0 = 42 mm, y un diámetro de bulón d = 40 mm. Se determina a continuación la resistencia a cortante del bulón. El área de la sección transversal del bulón es A = (π·40²/4) = 1256,63 mm². La calidad del acero del bulón empleado es C50, con una resistencia última a tracción del tornillo f_{up} = 750 N/mm². El coeficiente de seguridad a emplear es γ_{M2} = 1,25. La expresión empleada para el cálculo es la siguiente:

$$F_{v,Rd} = \frac{0{,}6\,A\,f_{up}}{\gamma_{M2}} = \frac{0{,}6 \cdot 1256{,}63 \cdot 750}{1{,}25} = 452389{,}32\,N = 452{,}389\,kN$$

La primera comprobación a realizar para el bulón, $F_{v,Rd} \geq F_{v,Ed}$, se cumple.

Se realiza ahora la comprobación resistente tanto de la chapa central de la unión como de las chapas laterales. Esta comprobación se realiza para una chapa de espesor t = 25 mm, un bulón de diámetro d = 40 mm. El acero empleado para la chapa tiene un f_y = 275 kN/mm². El coeficiente de seguridad es γ_{M0} = 1,05. El valor de la capacidad resistente para la chapa central es:

$$F_{b,Rd} = \frac{1{,}5\,t\,d\,f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1{,}5 \cdot 25 \cdot 40 \cdot 275}{1{,}05} = 392857{,}1428\,N = 392{,}857\,kN$$

Para las chapas laterales se considera un espesor de 15 mm. La comprobación resistente para estas chapas es

$$F_{b,Rd} = \frac{1{,}5\,t\,d\,f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1{,}5 \cdot 15 \cdot 40 \cdot 275}{1{,}05} = 235714{,}148\,N = 235{,}714\,kN$$

Comparando estos valores con F_{ed} y con $F_{ed}/2$ se cumple la comprobación resistente para ambas chapas.

Se comprueba de manera adicional la condición de bulón desmontable. El esfuerzo actuante con el que se compara es $F_{v,ED,ser}$ =155,98 kN, que se obtiene de la resultante de combinaciones ELS. El valor $\gamma_{M6,ser}$ = 1.

$$F_{b,Rd,ser} = \frac{0{,}6\,t\,d\,f_y}{\gamma_{M6,ser}} = \frac{0{,}6 \cdot 25 \cdot 40 \cdot 275}{1} = 165000\,N = 165\,kN$$

La condición resistente se cumple.

Para realizar la comprobación de la placa de anclaje se define un nudo aislado en el software CYPE3D.

Los esfuerzos se introducen sobre el nudo creado para realizar el cálculo. Estos esfuerzos son las reacciones en los nudos de base de los pilares obtenidas del programa de cálculo empleado para el diseño de la estructura. Se crean combinaciones de carga (coincidentes con las del otro software) que incluyan los esfuerzos más

desfavorables. Al tratarse estos esfuerzos de reacciones previamente obtenidas, resulta necesario modificar los coeficientes de minoración, mayoración y combinación de acciones que aplica por defecto el software para no sobreestimar esfuerzos a los que ya se les habían aplicado estos coeficientes de manera previa. La figura 2 presenta un esquema y dimensiones de la placa de anclaje que se utiliza para todos los nudos de base.

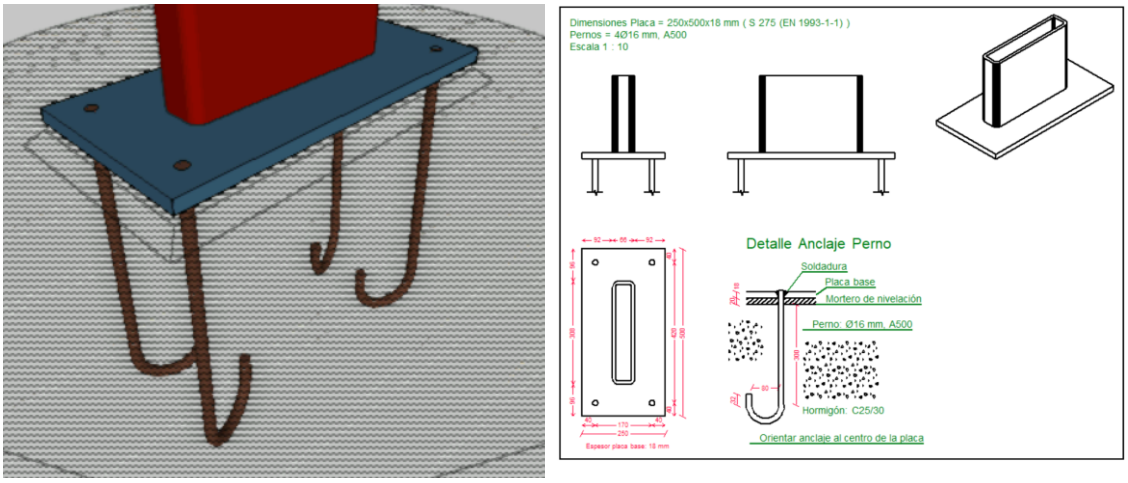


Fig 2. Detalle de la placa de anclaje. Fuente: Propia.

8. Resultados

Se adjuntan en este apartado los resultados obtenidos del programa de cálculo para la placa de base.

ÍNDICE

1. DATOS DE OBRA 2
1.1. Normas consideradas 2
1.2. Estados límite 2
1.2.1. Situaciones de proyecto 2
1.2.2. Combinaciones 2

2. ESTRUCTURA 3
2.1. Geometría 3
2.1.1. Nudos 3
2.1.2. Barras 4
2.2. Cargas 5
2.2.1. Nudos 5
2.2.2. Barras 6
2.3. Resultados 6
2.3.1. Nudos 6
2.3.2. Barras 8
2.4. Uniones 16
2.4.1. Referencias y simbología 16
2.4.2. Comprobaciones en placas de anclaje 17
2.4.3. Memoria de cálculo 18
2.4.4. Medición 20

3. CIMENTACIÓN 20
3.1. Elementos de cimentación aislados 20
3.1.1. Descripción 20
3.1.2. Medición 20
3.1.3. Comprobación 21

Producido por una versión educativa de CYPE

1. DATOS DE OBRA

1.1. Normas consideradas

Cimentación: Eurocódigo 2

Aceros laminados y armados: Eurocódigos 3 y 4

Categoría de uso: C. Áreas de reunión

1.2. Estados límite

E.L.U. de rotura. Hormigón en cimentaciones E.L.U. de rotura. Acero laminado Tensiones sobre el terreno Desplazamientos	CombELUrot1

1.2.1. Situaciones de proyecto

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

- $\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P_k + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Qi} Q_{ki}$

- Donde:

G_k Acción permanente
P_k Acción de pretensado
Q_k Acción variable
γ_G Coeficiente parcial de seguridad de las acciones permanentes
γ_P Coeficiente parcial de seguridad de la acción de pretensado
$\gamma_{Q,1}$ Coeficiente parcial de seguridad de la acción variable principal
$\gamma_{Q,i}$ Coeficiente parcial de seguridad de las acciones variables de acompañamiento

Para cada situación de proyecto y estado límite los coeficientes a utilizar serán:

E.L.U. de rotura. Hormigón en cimentaciones: Eurocódigo 2
E.L.U. de rotura. Acero laminado: Eurocódigos 3 y 4
Tensiones sobre el terreno
Desplazamientos

ELU1		
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.000	1.000
Sobrecarga (Q)	1.000	1.000

1.2.2. Combinaciones

Producido por una versión educativa de CYPE

- Nombres de las hipótesis

PP	Peso propio
CO265	CO265
CO305	CO305
CO261	CO261
CO522	CO522
CO33	CO33
CO259	CO259

- E.L.U. de rotura. Hormigón en cimentaciones
- E.L.U. de rotura. Acero laminado
- Tensiones sobre el terreno
- Desplazamientos

Comb.	PP	CO265	CO305	CO261	CO522	CO33	CO259
1	1.000						
2	1.000	1.000					
3	1.000		1.000				
4	1.000			1.000			
5	1.000				1.000		
6	1.000					1.000	
7	1.000						1.000

Producido por una versión educativa de CYPE

2. ESTRUCTURA

2.1. Geometría

2.1.1. Nudos

Referencias:

Δ_x, Δ_y, Δ_z: Desplazamientos prescritos en ejes globales.

θ_x, θ_y, θ_z: Giros prescritos en ejes globales.

Cada grado de libertad se marca con 'X' si está coaccionado y, en caso contrario, con '-'.

Nudos										
Referencia	Coordenadas			Vinculación exterior						Vinculación interior
	X (m)	Y (m)	Z (m)	Δ_x	Δ_y	Δ_z	θ_x	θ_y	θ_z	
N1	0.000	0.000	0.000	X	X	X	X	-	X	Empotrado
N2	0.000	0.000	0.100	-	-	-	-	-	-	Empotrado

2.1.2. Barras

2.1.2.1. Materiales utilizados

Materiales utilizados							
Material		E (MPa)	ν	G (MPa)	f_y (MPa)	α_{-t} (m/m°C)	γ (kN/m³)
Tipo	Designación						
Acero laminado	S275 (EN 10025-2)	210000.00	0.300	81000.00	275.00	0.000012	77.01

Notación:
E: Módulo de elasticidad
n: Módulo de Poisson
G: Módulo de cortadura
f_y: Límite elástico
a_t: Coeficiente de dilatación
g: Peso específico

2.1.2.2. Descripción

Descripción									
Material		Barra (Ni/Nf)	Pieza (Ni/Nf)	Perfil(Serie)	Longitud (m)	β_{xy}	β_{xz}	$Lb_{Sup.}$ (m)	$Lb_{Inf.}$ (m)
Tipo	Designación								
Acero laminado	S275 (EN 10025-2)	N1/N2	N1/N2	1 (1)	0.100	1.00	1.00	-	-

Notación:
Ni: Nudo inicial
Nf: Nudo final
b_{xy}: Coeficiente de pandeo en el plano 'XY'
b_{xz}: Coeficiente de pandeo en el plano 'XZ'
$Lb_{Sup.}$: Separación entre arriostramientos del ala superior
$Lb_{Inf.}$: Separación entre arriostramientos del ala inferior

2.1.2.3. Características mecánicas

Tipos de pieza	
Ref.	Piezas
1	N1/N2

Características mecánicas										
Material		Ref.	Descripción	A (cm²)	Avy (cm²)	Avz (cm²)	Iyy (cm4)	Izz (cm4)	It (cm4)
Tipo	Designación								
Acero laminado	S275 (EN 10025-2)	1	1, (1)	68.87	9.33	49.67	6456.62	479.35	1612.82

Notación:
Ref.: Referencia
A: Área de la sección transversal
Avy: Área de cortante de la sección según el eje local 'Y'
Avz: Área de cortante de la sección según el eje local 'Z'
Iyy: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Y'
Izz: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Z'
It: Inercia a torsión
Las características mecánicas de las piezas corresponden a la sección en el punto medio de las mismas.

Producido por una versión educativa de CYPE

2.1.2.4. Tabla de medición

Tabla de medición						
Material		Pieza (Ni/Nf)	Perfil(Serie)	Longitud (m)	Volumen (m³)	Peso (kg)
Tipo	Designación					
Acero laminado	S275 (EN 10025-2)	N1/N2	1 (1)	0.100	0.001	5.41

Notación:
Ni: Nudo inicial
Nf: Nudo final

2.1.2.5. Resumen de medición

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275 (EN 10025-2)	1	1	0.100	0.100	0.100	0.001	0.001	0.001	5.41	5.41	5.41

2.1.2.6. Medición de superficies

Acero laminado: Medición de las superficies a pintar				
Serie	Perfil	Superficie unitaria (m²/m)	Longitud (m)	Superficie (m²)
1	1	0.720	0.100	0.072
			Total	0.072

2.2. Cargas

2.2.1. Nudos

Cargas en nudos					
Referencia	Hipótesis	Cargas puntuales (kN)	Dirección		
			X	Y	Z
N1	CO305	27.31	1.000	0.000	0.000
N1	CO305	70.22	0.000	-1.000	0.000
N1	CO305	24.94	0.000	0.000	1.000
N1	CO261	64.19	-1.000	0.000	0.000
N1	CO261	37.36	0.000	1.000	0.000
N1	CO261	65.94	0.000	0.000	-1.000
N1	CO522	2.46	-1.000	0.000	0.000
N1	CO522	39.65	0.000	1.000	0.000
N1	CO522	162.29	0.000	0.000	1.000
N1	CO33	220.61	0.000	0.000	-1.000
N1	CO33	4.99	0.000	-1.000	0.000
N1	CO33	65.39	1.000	0.000	0.000
N1	CO259	172.31	0.000	0.000	-1.000
N1	CO259	6.55	0.000	-1.000	0.000
N1	CO259	77.68	1.000	0.000	0.000

Producido por una versión educativa de CYPE

2.2.2. Barras

Referencias:

'P1', 'P2':

- Cargas puntuales, uniformes, en faja y momentos puntuales: 'P1' es el valor de la carga. 'P2' no se utiliza.
- Cargas trapeciales: 'P1' es el valor de la carga en el punto donde comienza (L1) y 'P2' es el valor de la carga en el punto donde termina (L2).
- Cargas triangulares: 'P1' es el valor máximo de la carga. 'P2' no se utiliza.
- Incrementos de temperatura: 'P1' y 'P2' son los valores de la temperatura en las caras exteriores o paramentos de la pieza. La orientación de la variación del incremento de temperatura sobre la sección transversal dependerá de la dirección seleccionada.

'L1', 'L2':

- Cargas y momentos puntuales: 'L1' es la distancia entre el nudo inicial de la barra y la posición donde se aplica la carga. 'L2' no se utiliza.
- Cargas trapeciales, en faja, y triangulares: 'L1' es la distancia entre el nudo inicial de la barra y la posición donde comienza la carga, 'L2' es la distancia entre el nudo inicial de la barra y la posición donde termina la carga.

Unidades:

- Cargas puntuales: kN
- Momentos puntuales: kN·m.
- Cargas uniformes, en faja, triangulares y trapeciales: kN/m.
- Incrementos de temperatura: °C.

Producido por una versión educativa de CYPE

Cargas en barras										
Barra	Hipótesis	Tipo	Valores		Posición		Dirección			
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	Ejes	X	Y	Z
N1/N2	Peso propio	Uniforme	0.530	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N1/N2	CO305	Momento	25.050	-	0.100	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N1/N2	CO261	Momento	9.810	-	0.100	-	Globales	0.000	0.000	1.000
N1/N2	CO522	Momento	4.560	-	0.000	-	Globales	0.000	0.000	1.000

2.3. Resultados

2.3.1. Nudos

2.3.1.1. Desplazamientos

Referencias:

Dx, Dy, Dz: Desplazamientos de los nudos en ejes globales.
Gx, Gy, Gz: Giros de los nudos en ejes globales.

2.3.1.1.1. Hipótesis

Desplazamientos de los nudos, por hipótesis							
Referencia	Descripción	Desplazamientos en ejes globales					
		Dx (mm)	Dy (mm)	Dz (mm)	Gx (mRad)	Gy (mRad)	Gz (mRad)
N1	Peso propio	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	CO265	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	CO305	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	CO261	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	CO522	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	CO33	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	CO259	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Desplazamientos de los nudos, por hipótesis							
Referencia	Descripción	Desplazamientos en ejes globales					
		Dx (mm)	Dy (mm)	Dz (mm)	Gx (mRad)	Gy (mRad)	Gz (mRad)
N2	Peso propio	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	CO265	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	CO305	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.923
	CO261	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.753
	CO522	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	CO33	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	CO259	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

2.3.1.1.2. Combinaciones

Desplazamientos de los nudos, por combinación								
Referencia	Combinación		Desplazamientos en ejes globales					
	Tipo	Descripción	Dx (mm)	Dy (mm)	Dz (mm)	Gx (mRad)	Gy (mRad)	Gz (mRad)
N1	Desplazamientos	PP	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		PP+CO265	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		PP+CO305	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		PP+CO261	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		PP+CO522	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		PP+CO33	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		PP+CO259	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
N2	Desplazamientos	PP	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		PP+CO265	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		PP+CO305	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.923
		PP+CO261	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.753
		PP+CO522	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		PP+CO33	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		PP+CO259	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Producido por una versión educativa de CYPE

2.3.1.1.3. Envolventes

Envolvente de los desplazamientos en nudos								
Referencia	Combinación		Desplazamientos en ejes globales					
	Tipo	Descripción	Dx (mm)	Dy (mm)	Dz (mm)	Gx (mRad)	Gy (mRad)	Gz (mRad)
N1	Desplazamientos	Valor mínimo de la envolvente	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Valor máximo de la envolvente	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
N2	Desplazamientos	Valor mínimo de la envolvente	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.923
		Valor máximo de la envolvente	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.753

2.3.1.2. Reacciones

Referencias:

Rx, Ry, Rz: Reacciones en nudos con desplazamientos coaccionados (fuerzas).
Mx, My, Mz: Reacciones en nudos con giros coaccionados (momentos).

2.3.1.2.1. Hipótesis

Reacciones en los nudos, por hipótesis							
Referencia	Descripción	Reacciones en ejes globales					
		Rx (kN)	Ry (kN)	Rz (kN)	Mx (kN·m)	My (kN·m)	Mz (kN·m)
N1	Peso propio	0.000	0.000	0.053	0.00	0.00	0.00
	CO265	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00
	CO305	-27.310	70.220	-24.940	0.00	0.00	25.05
	CO261	64.190	-37.360	65.940	0.00	0.00	-9.81
	CO522	2.460	-39.650	-162.290	0.00	0.00	-4.56
	CO33	-65.390	4.990	220.610	0.00	0.00	0.00
	CO259	-77.680	6.550	172.310	0.00	0.00	0.00

2.3.1.2.2. Combinaciones

Reacciones en los nudos, por combinación									
Referencia	Combinación		Reacciones en ejes globales						
	Tipo	Descripción	Rx (kN)	Ry (kN)	Rz (kN)	Mx (kN·m)	My (kN·m)	Mz (kN·m)
N1	Hormigón en cimentaciones	PP	0.000	0.000	0.053	0.00	0.00	0.00
		PP+CO265	0.000	0.000	0.053	0.00	0.00	0.00
		PP+CO305	-27.310	70.220	-24.887	0.00	0.00	25.05
		PP+CO261	64.190	-37.360	65.993	0.00	0.00	-9.81
		PP+CO522	2.460	-39.650	-162.237	0.00	0.00	-4.56
		PP+CO33	-65.390	4.990	220.663	0.00	0.00	0.00
		PP+CO259	-77.680	6.550	172.363	0.00	0.00	0.00
	Tensiones sobre el terreno	PP	0.000	0.000	0.053	0.00	0.00	0.00
		PP+CO265	0.000	0.000	0.053	0.00	0.00	0.00
		PP+CO305	-27.310	70.220	-24.887	0.00	0.00	25.05
		PP+CO261	64.190	-37.360	65.993	0.00	0.00	-9.81
		PP+CO522	2.460	-39.650	-162.237	0.00	0.00	-4.56
		PP+CO33	-65.390	4.990	220.663	0.00	0.00	0.00
		PP+CO259	-77.680	6.550	172.363	0.00	0.00	0.00

Producido por una versión educativa de CYPE

Nota: Las combinaciones de hormigón indicadas son las mismas que se utilizan para comprobar el estado límite de equilibrio en la cimentación.

2.3.1.2.3. Envolventes

Envolventes de las reacciones en nudos								
Referencia	Combinación		Reacciones en ejes globales					
	Tipo	Descripción	Rx (kN)	Ry (kN)	Rz (kN)	Mx (kN·m)	My (kN·m)	Mz (kN·m)
N1	Hormigón en cimentaciones	Valor mínimo de la envolvente	-77.680	-39.650	-162.237	0.00	0.00	-9.81
		Valor máximo de la envolvente	64.190	70.220	220.663	0.00	0.00	25.05
	Tensiones sobre el terreno	Valor mínimo de la envolvente	-77.680	-39.650	-162.237	0.00	0.00	-9.81
		Valor máximo de la envolvente	64.190	70.220	220.663	0.00	0.00	25.05

Nota: Las combinaciones de hormigón indicadas son las mismas que se utilizan para comprobar el estado límite de equilibrio en la cimentación.

2.3.2. Barras

2.3.2.1. Esfuerzos

Referencias:

N: Esfuerzo axil (kN)

Vy: Esfuerzo cortante según el eje local Y de la barra. (kN)
Vz: Esfuerzo cortante según el eje local Z de la barra. (kN)
Mt: Momento torsor (kN·m)
My: Momento flector en el plano 'XZ' (giro de la sección respecto al eje local 'Y' de la barra). (kN·m)
Mz: Momento flector en el plano 'XY' (giro de la sección respecto al eje local 'Z' de la barra). (kN·m)

2.3.2.1.1. Hipótesis

Esfuerzos en barras, por hipótesis							
Barra	Hipótesis	Esfuerzo	Posiciones en la barra				
			0.000 m	0.001 m	0.050 m	0.099 m	0.100 m
N1/N2	Peso propio	N	-0.053	-0.053	-0.027	-0.001	0.000
		Vy	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mt	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		My	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Mz	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	CO265	N	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vy	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mt	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		My	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Mz	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	CO305	N	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vy	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mt	-25.05	-25.05	-25.05	-25.05	-25.05
		My	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Mz	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	CO261	N	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vy	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mt	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81
		My	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Mz	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	CO522	N	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vy	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mt	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		My	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Mz	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	CO33	N	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vy	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mt	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		My	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Mz	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	CO259	N	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vy	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mt	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Producido por una versión educativa de CYPE

Esfuerzos en barras, por hipótesis							
Barra	Hipótesis	Esfuerzo	Posiciones en la barra				
			0.000 m	0.001 m	0.050 m	0.099 m	0.100 m
		My	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Mz	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

2.3.2.1.2. Combinaciones

Esfuerzos en barras, por combinación								
Barra	Combinación		Esfuerzo	Posiciones en la barra				
	Tipo	Descripción		0.000 m	0.001 m	0.050 m	0.099 m	0.100 m
N1/N2	Acero laminado	PP	N	-0.053	-0.053	-0.027	0.000	0.000
			Vy	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			Vz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			Mt	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			My	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			Mz	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		PP+CO265	N	-0.053	-0.053	-0.027	0.000	0.000
			Vy	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			Vz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			Mt	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			My	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			Mz	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		PP+CO305	N	-0.053	-0.053	-0.027	0.000	0.000
			Vy	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			Vz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			Mt	-25.05	-25.05	-25.05	-25.05	-25.05
			My	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			Mz	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		PP+CO261	N	-0.053	-0.053	-0.027	0.000	0.000
			Vy	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			Vz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			Mt	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81
			My	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			Mz	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		PP+CO522	N	-0.053	-0.053	-0.027	0.000	0.000
			Vy	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			Vz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			Mt	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			My	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			Mz	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		PP+CO33	N	-0.053	-0.053	-0.027	0.000	0.000
			Vy	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			Vz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			Mt	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			My	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			Mz	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		PP+CO259	N	-0.053	-0.053	-0.027	0.000	0.000
			Vy	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Producido por una versión educativa de CYPE

Esfuerzos en barras, por combinación								
Barra	Combinación		Esfuerzo	Posiciones en la barra				
	Tipo	Descripción		0.000 m	0.001 m	0.050 m	0.099 m	0.100 m
			Vz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			Mt	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			My	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			Mz	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

2.3.2.1.3. Envolventes

Envolventes de los esfuerzos en barras							
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra				
			0.000 m	0.001 m	0.050 m	0.099 m	0.100 m
N1/N2	Acero laminado	$N_{mín}$	-0.053	-0.053	-0.027	0.000	0.000
		$N_{máx}$	-0.053	-0.053	-0.027	0.000	0.000
		$Vy_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Vy_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Vz_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Vz_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mt_{mín}$	-25.05	-25.05	-25.05	-25.05	-25.05
		$Mt_{máx}$	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81
		$My_{mín}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		$My_{máx}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		$Mz_{mín}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		$Mz_{máx}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

2.3.2.2. Resistencia

Referencias:

N: Esfuerzo axil (kN)
Vy: Esfuerzo cortante según el eje local Y de la barra. (kN)
Vz: Esfuerzo cortante según el eje local Z de la barra. (kN)
Mt: Momento torsor (kN·m)
My: Momento flector en el plano 'XZ' (giro de la sección respecto al eje local 'Y' de la barra). (kN·m)
Mz: Momento flector en el plano 'XY' (giro de la sección respecto al eje local 'Z' de la barra). (kN·m)

Los esfuerzos indicados son los correspondientes a la combinación pésima, es decir, aquella que demanda la máxima resistencia de la sección.

Origen de los esfuerzos pésimos:

- G: Sólo gravitatorias
- GV: Gravitatorias + viento
- GS: Gravitatorias + sismo
- GVS: Gravitatorias + viento + sismo

η: Aprovechamiento de la resistencia. La barra cumple con las condiciones de resistencia de la norma si se cumple que $\eta \leq 100$ %.

Comprobación de resistencia										
Barra	η (%)	Posición (m)	Esfuerzos pésimos						Origen	Estado
			N (kN)	Vy (kN)	Vz (kN)	Mt (kN·m)	My (kN·m)	Mz (kN·m)		
N1/N2	47.27	0.000	-0.053	0.000	0.000	-25.05	0.00	0.00	G	Cumple

Producido por una versión educativa de CYPE

2.3.2.3. Flechas

Referencias:

Pos.: Valor de la coordenada sobre el eje 'X' local del grupo de flecha en el punto donde se produce el valor pésimo de la flecha.
L.: Distancia entre dos puntos de corte consecutivos de la deformada con la recta que une los nudos extremos del grupo de flecha.

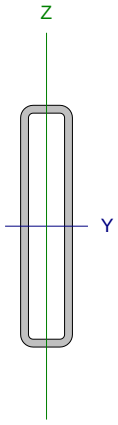
Flechas								
Grupo	Flecha máxima absoluta xy Flecha máxima relativa xy		Flecha máxima absoluta xz Flecha máxima relativa xz		Flecha activa absoluta xy Flecha activa relativa xy		Flecha activa absoluta xz Flecha activa relativa xz	
	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)
N1/N2	0.000 -	0.00 L/(>1000)	0.000 -	0.00 L/(>1000)	0.000 -	0.00 L/(>1000)	0.000 -	0.00 L/(>1000)

2.3.2.4. Comprobaciones E.L.U. (Completo)

Barra N1/N2

Perfil: 1
Material: Acero (S275 (EN 10025-2))

Producido por una versión educativa de CYPE



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I_y (1) (cm4)	I_z (1) (cm4)	I_t (2) (cm4)
N1	N2	0.100	68.87	6456.62	479.35	1612.82

Notas:
(1) Inercia respecto al eje indicado
(2) Momento de inercia a torsión uniforme

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L_K	0.100	0.100	0.000	0.000
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000
C_1	-		1.000	

Notación:
b: Coeficiente de pandeo
L_K: Longitud de pandeo (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C_1: Factor de modificación para el momento crítico

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector que comprima un ala, de forma que se pueda desarrollar el fenómeno de abolladura del alma inducida por el ala comprimida.

Resistencia a tracción (Eurocódigo 3 EN 1993-1-1: 2005, Artículo 6.2.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

Resistencia a compresión (Eurocódigo 3 EN 1993-1-1: 2005, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

h < 0.001 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N1, para la combinación de acciones PP.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed}$: 0.05 kN

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$\mathbf{N_{c,Rd}} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$: 1893.85 kN

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. A : 68.87 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : 275.00 MPa

$$\mathbf{f_{yd}} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (Eurocódigo 3 EN 1993-1-1: 2005, Tabla 3.1) f_y : 275.00 MPa

g_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. g_{M0} : 1.00

Resistencia a pandeo: (Eurocódigo 3 EN 1993-1-1: 2005, Artículo 6.3.1)

Si la esbeltez `l ≤ 0.2 o la relación $N_{c,Ed}$ / N_{cr} ≤ 0.04 se puede ignorar el efecto del pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

`l: Esbeltez reducida. `l : 0.04

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$N_{c,Ed} / N_{cr}$: Relación de axiles. $N_{c,Ed} / N_{cr}$: 0.000

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. A : 68.87 cm²

f_y: Límite elástico. (Eurocódigo 3 EN 1993-1-1: 2005, Tabla 3.1) f_y : 275.00 MPa

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico. N_{cr} : 993516.89 kN

El axil crítico de pandeo elástico N_{cr} es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. $N_{cr,y}$: 13382091.76 kN

$$\mathbf{N_{cr,y}} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. $N_{cr,z}$: 993516.89 kN

$$\mathbf{N_{cr,z}} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión. $N_{cr,T}$: ∞

$$\mathbf{N_{cr,T}} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y. I_y : 6456.62 cm4

Producido por una versión educativa de CYPE

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.	I_z :	479.35	cm4
I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.	I_t :	1612.82	cm4
I_w: Constante de alabeo de la sección.	I_w :	0.00	cm6
E: Módulo de elasticidad.	E :	210000	MPa
G: Módulo de elasticidad transversal.	G :	81000	MPa
L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.	L_{ky} :	0.100	m
L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.	L_{kz} :	0.100	m
L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.	L_{kt} :	0.000	m
i_0: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.	i_0 :	10.04	cm

$$\mathbf{i_0} = \left(i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2\right)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.	i_y :	9.68	cm
	i_z :	2.64	cm
y_0 , z_0: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.	y_0 :	0.00	mm
	z_0 :	0.00	mm

Producido por una versión educativa de CYPE

Resistencia a flexión eje Y (Eurocódigo 3 EN 1993-1-1: 2005, Artículo 6.2.5)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a flexión eje Z (Eurocódigo 3 EN 1993-1-1: 2005, Artículo 6.2.5)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (Eurocódigo 3 EN 1993-1-1: 2005, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a corte Y (Eurocódigo 3 EN 1993-1-1: 2005, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (Eurocódigo 3 EN 1993-1-1: 2005, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (Eurocódigo 3 EN 1993-1-1: 2005, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (Eurocódigo 3 EN 1993-1-1: 2005, Artículo 6.2.9)

No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (Eurocódigo 3 EN 1993-1-1: 2005, Artículo 6.2.10)

No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a torsión (Eurocódigo 3 EN 1993-1-1: 2005, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

Producido por una versión educativa de CYPE

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

h : 0.473 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+CO305.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. $M_{T,Ed}$: 25.05 kN·m

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$\mathbf{M_{T,Rd}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$M_{T,Rd}$: 52.99 kN·m

Donde:

W_T: Módulo de resistencia a torsión. W_T : 333.76 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : 275.00 MPa

$$\mathbf{f_{yd}} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (Eurocódigo 3 EN 1993-1-1: 2005, Tabla 3.1) f_y : 275.00 MPa

g_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. g_{M0} : 1.00

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (Eurocódigo 3 EN 1993-1-1: 2005, Artículo 6.2.7)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (Eurocódigo 3 EN 1993-1-1: 2005, Artículo 6.2.7)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

2.3.2.5. Comprobaciones E.L.U. (Resumido)

Barra	COMPROBACIONES (EUROCÓDIGO 3 EN 1993-1-1: 2005)														Estado
	λ_w	N_t	N_c	M_Y	M_Z	V_Z	V_Y	M_YV_Z	M_ZV_Y	NM_YM_Z	$NM_YM_ZV_YV_Z$	M_t	M_tV_Z	M_tV_Y	
N1/N2	N.P.[1]	N_{Ed} = 0.00 N.P.[2]	x: 0 m η < 0.1	M_{Ed} = 0.00 N.P.[3]	M_{Ed} = 0.00 N.P.[3]	V_{Ed} = 0.00 N.P.[4]	V_{Ed} = 0.00 N.P.[4]	N.P.[5]	N.P.[5]	N.P.[6]	N.P.[7]	η = 47.3	N.P.[8]	N.P.[8]	CUMPLE h = 47.3

Notación:
I_w: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida
N_t: Resistencia a tracción
N_c: Resistencia a compresión
M_Y: Resistencia a flexión eje Y
M_Z: Resistencia a flexión eje Z
V_Z: Resistencia a corte Z
V_Y: Resistencia a corte Y
M_YV_Z: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
M_ZV_Y: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados
NM_YM_Z: Resistencia a flexión y axil combinados
$NM_YM_ZV_YV_Z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados
M_t: Resistencia a torsión
M_tV_Z: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
M_tV_Y: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados
x: Distancia al origen de la barra
h: Coeficiente de aprovechamiento (%)
N.P.: No procede

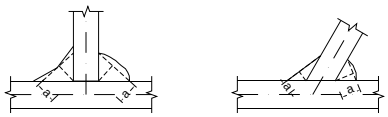
Comprobaciones que no proceden (N.P.):
[1] La comprobación no procede, ya que no hay momento flector que comprima un ala, de forma que se pueda desarrollar el fenómeno de abolladura del alma inducida por el ala comprimida.
[2] La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.
[3] La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.
[4] La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.
[5] No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
[6] No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
[7] No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
[8] No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Producido por una versión educativa de CYPE

2.4. Uniones

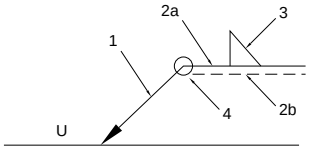
2.4.1. Referencias y simbología

a[mm]: espesor de garganta eficaz de un cordón de soldadura en ángulo, que es la altura del mayor triángulo (de iguales o desiguales lados) que se puede inscribir dentro de las caras de fusión y la superficie del cordón, medido perpendicularmente a la cara exterior de este triángulo. Eurocódigo 3, Parte 1-8, Articulo 4.5.2 (1)



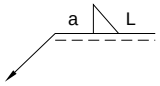
L[mm]: longitud efectiva del cordón de soldadura

<u>Método de representación de soldaduras</u>

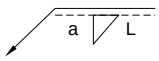


Referencias:
1: línea de la flecha
2a: línea de referencia (línea continua)
2b: línea de identificación (línea a trazos)
3: símbolo de soldadura
4: indicaciones complementarias
U: Unión

<u>Referencias 1, 2a y 2b</u>



El cordón de soldadura que se detalla se encuentra en el lado de la flecha.



El cordón de soldadura que se detalla se encuentra en el lado opuesto al de la flecha.

Referencia 3

Designación	Ilustración	Símbolo
Soldadura en ángulo		
Soldadura a tope en 'V' simple (con chaflán)		
Soldadura a tope en bisel simple		
Soldadura a tope en bisel doble		
Soldadura a tope en bisel simple con talón de raíz amplio		
Soldadura combinada a tope en bisel simple y en ángulo		
Soldadura a tope en bisel simple con lado curvo		

Referencia 4

Representación	Descripción
	Soldadura realizada en todo el perímetro de la pieza
	Soldadura realizada en taller
	Soldadura realizada en el lugar de montaje

Producido por una versión educativa de CYPE

2.4.2. Comprobaciones en placas de anclaje

En cada placa de anclaje se realizan las siguientes comprobaciones (asumiendo la hipótesis de placa rígida):

1. Hormigón sobre el que apoya la placa

Se comprueba que la tensión de compresión en la interfaz placa de anclaje-hormigón es menor a la tensión admisible del hormigón según la naturaleza de cada combinación.

2. Pernos de anclaje

a) *Resistencia del material de los pernos*: Se descomponen los esfuerzos actuantes sobre la placa en axiles y cortantes en los pernos y se comprueba que ambos esfuerzos, por separado y con interacción entre ellos (tensión de Von Mises), producen tensiones menores a la tensión límite del material de los pernos.

b) *Anclaje de los pernos*: Se comprueba el anclaje de los pernos en el hormigón de tal manera que no se produzca el fallo de deslizamiento por adherencia, arrancamiento del cono de rotura o fractura por esfuerzo cortante (aplastamiento).

c) *Aplastamiento*: Se comprueba que en cada perno no se supera el cortante que produciría el aplastamiento de la placa contra el perno.

3. Placa de anclaje

a) *Tensiones globales*: En placas con vuelo, se analizan cuatro secciones en el perímetro del perfil, y se comprueba en todas ellas que las tensiones de Von Mises sean menores que la tensión límite según la norma.

b) *Flechas globales relativas*: Se comprueba que en los vuelos de las placas no aparezcan flechas mayores que 1/250 del vuelo.

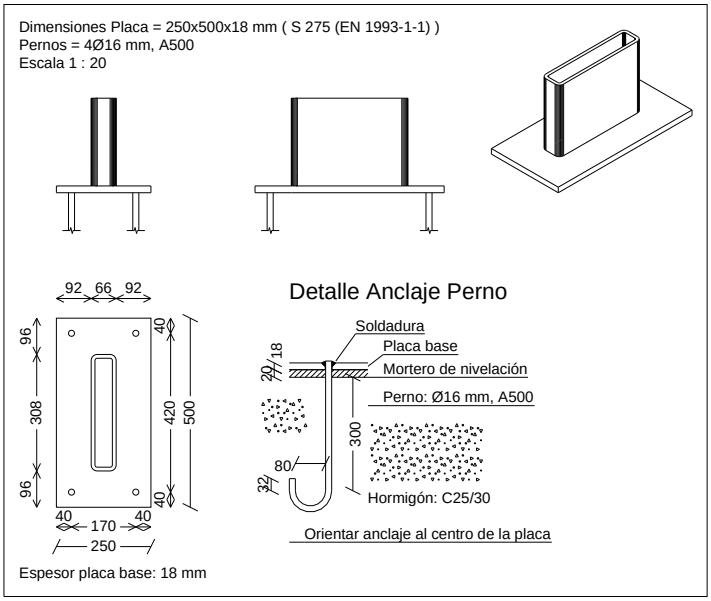
c) *Tensiones locales*: Se comprueban las tensiones de Von Mises en todas las placas locales en las que tanto el perfil como los rigidizadores dividen a la placa de anclaje propiamente dicha. Los esfuerzos en cada una de las subplacas se obtienen a partir de las tensiones de contacto con el hormigón y los axiles de los pernos. El modelo generado se resuelve por diferencias finitas.

Producido por una versión educativa de CYPE

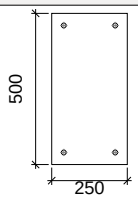
2.4.3. Memoria de cálculo

2.4.3.1. Tipo 1

a) Detalle



b) Descripción de los componentes de la unión

Elementos complementarios										
Pieza	Geometría				Taladros		Acero			
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro (mm)	Tipo	f_y (MPa)	f_u (MPa)
Placa base		250	500	18	4	16	S275 (EN 1993-1-1)	275.0	430.0

c) Comprobación

1) Placa de anclaje

Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: *2 diámetros*	Mínimo: 32 mm Calculado: 170 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: *2 diámetros*	Mínimo: 32 mm Calculado: 40 mm	Cumple
Longitud mínima del perno: *Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.*	Mínimo: 18 cm Calculado: 30 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón:		
- Tracción:	Máximo: 53.34 kN Calculado: 0 kN	Cumple
- Cortante:	Máximo: 37.34 kN Calculado: 27.64 kN	Cumple
- Tracción + Cortante:	Máximo: 53.34 kN Calculado: 39.49 kN	Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 80.42 kN Calculado: 0 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 500 MPa Calculado: 264.591 MPa	Cumple
Aplastamiento perno en placa: *Límite del cortante en un perno actuando contra la placa*	Máximo: 158.4 kN Calculado: 27.64 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales:	Máximo: 275 MPa	
- Derecha:	Calculado: 15.8203 MPa	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 15.8203 MPa	Cumple
- Arriba:	Calculado: 24.7453 MPa	Cumple
- Abajo:	Calculado: 24.7453 MPa	Cumple
Flecha global equivalente: *Limitación de la deformabilidad de los vuelos*	Mínimo: 250 Calculado: 100000	Cumple
Tensión de Von Mises local: *Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo*	Máximo: 275 MPa Calculado: 0 MPa	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional:		
- Relación rotura pésima sección de hormigón: 1.27e-005		

Producido por una versión educativa de CYPE

d) Medición

Placas de anclaje				
Material	Elementos	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275 (EN 1993-1-1)	Placa base	1	250x500x18	17.66
			Total	17.66
A500 (corrugado)	Pernos de anclaje	4	Ø 16 - L = 354 + 183	3.39
			Total	3.39

2.4.4. Medición

Placas de anclaje				
Material	Elementos	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275 (EN 1993-1-1)	Placa base	1	250x500x18	17.66
			Total	17.66
A500 (corrugado)	Pernos de anclaje	4	Ø 16 - L = 354 + 183	3.39
			Total	3.39

Producida por una versión educativa de CYPE

3. CIMENTACIÓN

3.1. Elementos de cimentación aislados

3.1.1. Descripción

Referencias	Geometría	Armado
N1	Zapata cuadrada Anchura: 320 cm Canto: 75 cm	Sup X: 16Ø16c/20 Sup Y: 16Ø16c/20 Inf X: 16Ø16c/20 Inf Y: 16Ø16c/20

3.1.2. Medición

Referencia: N1		fyk=500	Total
Nombre de armado		Ø16	
Parrilla inferior - Armado X	Longitud (m) Peso (kg)	16x3.05 16x4.81	48.80 77.02
Parrilla inferior - Armado Y	Longitud (m) Peso (kg)	16x3.05 16x4.81	48.80 77.02
Parrilla superior - Armado X	Longitud (m) Peso (kg)	16x3.05 16x4.81	48.80 77.02
Parrilla superior - Armado Y	Longitud (m) Peso (kg)	16x3.05 16x4.81	48.80 77.02
Totales	Longitud (m) Peso (kg)	195.20 308.08	 308.08
Total con mermas (10.00%)	Longitud (m) Peso (kg)	214.72 338.89	 338.89

Resumen de medición (se incluyen mermas de acero)

	fyk=500 (kg)	Hormigón (m³)	
Elemento	Ø16	C25/30	Limpieza
Referencia: N1	338.89	7.68	1.02

	fyk=500 (kg)	Hormigón (m³)	
Elemento	Ø16	C25/30	Limpieza
Totales	338.89	7.68	1.02

3.1.3. Comprobación

Referencia: N1
Dimensiones: 320 x 320 x 75
Armados: Xi:Ø16c/20 Yi:Ø16c/20 Xs:Ø16c/20 Ys:Ø16c/20

Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: *Criterio de CYPE*		
- Tensión media en situaciones persistentes:	Máximo: 0.0981 MPa Calculado: 0.0399267 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes:	Máximo: 0.122625 MPa Calculado: 0.0495405 MPa	Cumple
Vuelco de la zapata: *Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.*		
- En dirección X:	Reserva seguridad: 745.3 %	Cumple
- En dirección Y:	Reserva seguridad: 40.5 %	Cumple
Flexión en la zapata:		
- En dirección X:	Momento: 87.29 kN·m	Cumple
- En dirección Y:	Momento: 81.50 kN·m	Cumple
Cortante en la zapata:		
- En dirección X:	Cortante: 64.35 kN	Cumple
- En dirección Y:	Cortante: 58.47 kN	Cumple
Compresión oblicua en la zapata: - Situaciones persistentes: *Criterio de CYPE*	Máximo: 5000 kN/m² Calculado: 211.9 kN/m²	Cumple
Canto mínimo: *Criterio de CYPE*	Mínimo: 15 cm Calculado: 75 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación: - N1:	Mínimo: 30 cm Calculado: 68 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima: *Norma EC-2. Artículo 9.2.1.1*	Mínimo: 0.00133	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 0.00134	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 0.00134	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 0.00134	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 0.00134	Cumple
Diámetro mínimo de las barras: *Norma EC-2. Artículo 9.8.2.1*	Mínimo: 8 mm	
- Parrilla inferior:	Calculado: 16 mm	Cumple
- Parrilla superior:	Calculado: 16 mm	Cumple
Separación máxima entre barras: *Criterio de CYPE*	Máximo: 30 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 20 cm	Cumple
Separación mínima entre barras: *Criterio de CYPE*	Mínimo: 10 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 20 cm	Cumple

Producido por una versión educativa de CYPE

Referencia: N1 Dimensiones: 320 x 320 x 75 Armados: Xi:Ø16c/20 Yi:Ø16c/20 Xs:Ø16c/20 Ys:Ø16c/20		
Comprobación	Valores	Estado
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 20 cm	Cumple
Longitud de anclaje: *Norma EC-2. Artículo 8.4*		
- Armado inf. dirección X hacia der:	Mínimo: 19 cm Calculado: 71 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Mínimo: 19 cm Calculado: 71 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 19 cm Calculado: 83 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 19 cm Calculado: 83 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Mínimo: 28 cm Calculado: 71 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Mínimo: 28 cm Calculado: 71 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 28 cm Calculado: 83 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 28 cm Calculado: 83 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

Información adicional:

Zapata de tipo rígido

Relación rotura pésima (En dirección X): 0.11

Relación rotura pésima (En dirección Y): 0.10

Cortante de agotamiento (En dirección X): 740.46 kN

Cortante de agotamiento (En dirección Y): 740.46 kN

Producido por una versión educativa de CYPE