

Diseño y cálculo de bases de soporte solicitadas a flexocompresión, compresión o tracción según la combinación considerada

Apellidos, nombre	Arianna Guardiola Villora (aguardio@mes.upv.es)
Departamento	Mecánica del Medio Continuo y Teoría de Estructuras
Centro	Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valencia

1 Resumen de las ideas clave

En el proceso de diseño y cálculo de los elementos y uniones de las estructuras es necesario tener en cuenta las distintas situaciones a que van a estar sometidos durante el proceso de ejecución y a lo largo de la vida útil.

En el caso de las bases de soporte empotradas, es posible que, en función de la combinación de acciones considerada, el extremo del soporte se encuentre solicitado a flexocompresión, a compresión simple, o a tracción.

En este documento se muestra el proceso de diseño y cálculo de una base de soporte de acero empotrada, solicitada a flexocompresión, a compresión simple o a tracción, según la combinación de hipótesis de carga considerada en el cálculo, siguiendo los criterios establecidos por el Documento Básico de Seguridad Estructural, Acero del Código Técnico de la Edificación y la instrucción de Hormigón Estructural EHE-08

2 Introducción

Para poder transmitir el esfuerzo de compresión en el extremo de un soporte de acero a la cimentación, es necesario disponer de una placa de reparto que disminuya las presiones sobre el hormigón, material de menor tensión admisible.

Para que dicha placa de reparto sea eficaz, deberá tener un determinado espesor, función de los esfuerzos a transmitir, además de estar suficientemente anclada a la cimentación garantizando que no se produce un despegue entre ambas superficies.

El proceso de dimensionado de las bases de soporte consiste en predimensionar la placa teniendo en cuenta una serie de criterios de diseño, comprobar que las dimensiones son aceptables considerando los esfuerzos a transmitir y disponer las armaduras necesarias para anclarla a la cimentación.

3 Objetivos

Una vez que el alumno finalice la lectura de este documento será capaz de:

- Diseñar la base de un soporte de acero solicitado a flexocompresión, compresión simple o tracción según la combinación de hipótesis de carga considerada.
- Comprobar que son adecuadas las dimensiones de la placa de anclaje diseñada para todas las combinaciones consideradas.
- Dimensionar las armaduras de anclaje de la placa a la cimentación teniendo en cuenta todas las situaciones posibles.
- Dibujar el detalle constructivo correspondiente que satisface las condiciones anteriores.

4 Diseño y cálculo de las bases de soporte en flexocompresión, compresión simple y tracción

4.1 Predimensionado de la placa de anclaje y obtención del área portante.

Se trata de diseñar un empotramiento, por lo que la unión entre el soporte y la placa de acero y la placa de acero con la cimentación tendrá que ser capaz de transmitir axiles, momentos y cortantes.

Por tanto, los anclajes se situarán más allá del borde de las alas, con objeto de sujetar las cabezas del perfil para garantizar la coacción al giro en el empotramiento, y el perfil de acero deberá soldarse perimetralmente a la placa tal y como se observa en la figura 1.

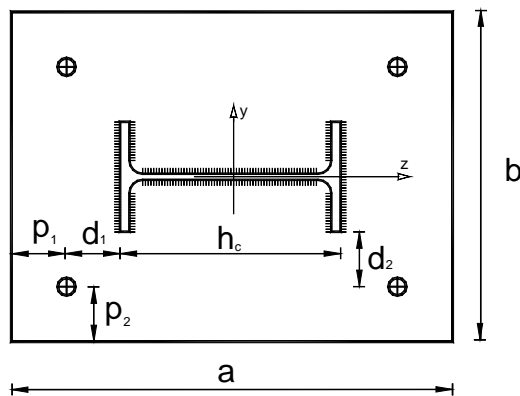


Figura 1. Esquema de la placa

Las distancias del eje de las armaduras al borde frontal y al lateral deberán ser suficientemente grandes para evitar que la chapa rompa.

$$35 \text{ mm} \leq p_1, p_2 \leq 60 \text{ mm}.$$

La distancia entre la cara exterior del perfil y el eje de las armaduras será tal que garantice la sujeción del ala del soporte.

$$35 \text{ mm} \leq d_1 \leq 60 \text{ mm}.$$

El valor de d_2 dependerá de si el soporte está solicitado a sólo a flexión alrededor del eje y (d_2 puede ser cero) o también está solicitado por un momento sobre el eje z, en cuyo caso se dispondría la misma distancia que d_1 .

De este modo se tienen las dimensiones de la placa, $a \times b$, siendo el espesor recomendado entre 15 y 20 mm para los casos de flexocompresión, sin olvidar que trata de un predimensionado, y que si al comprobar el espesor de la placa, éste no es suficiente, se aumentará.

De acuerdo con el artículo 8.8.1 del DB SE-A, de toda la superficie de la placa dispuesta, sólo se transmiten esfuerzos a la cimentación a través del área portante, que es la zona alrededor del perfil cuya anchura suplementaria de apoyo tiene el valor C .

siendo $c = t \cdot \left(\frac{f_y}{3 \cdot f_{jd} \cdot \gamma_{M0}} \right)^{1/2}$ donde

f_y es el límite elástico del acero de la placa

t es el espesor de la misma

f_{jd} es la resistencia de cálculo del hormigón confinado.

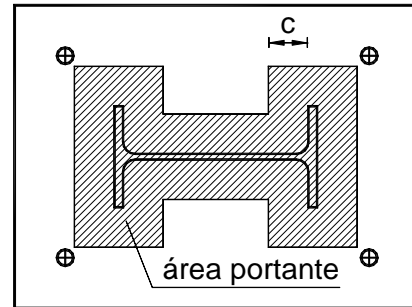


Figura 2. Área portante

De tal manera que, una vez calculado el valor de C , se obtiene el área portante orlando el perfil con la anchura suplementaria, tal y como se muestra en la figura 2.

4.2 Comprobación de la placa diseñada solicitada a flexocompresión y dimensionado de los anclajes

La sollicitación de flexocompresión es habitualmente la determinante en el dimensionado de la placa, de modo que ésta se dimensiona para la combinación de hipótesis de carga mas desfavorable a flexocompresión, habitualmente la que mayor excentricidad del axil genere, entendiendo excentricidad como el cociente entre el máximo momento flector y el máximo axil de la combinación considerada.

Cuando el extremo del soporte que se está uniendo a la cimentación está sollicitado a flexocompresión, el esquema de comportamiento de la placa sería el que se muestra en la figura 3.

En esta imagen se observa que el axil de compresión y el momento flector producen compresiones en el hormigón bajo el área portante (zona rayada) y tracciones en las armaduras del otro extremo de la placa.

El proceso de dimensionado en estos casos consiste en plantear las ecuaciones de equilibrio para obtener el valor de la tracción en las armaduras (Z) y la superficie comprimida bajo el área portante (x).

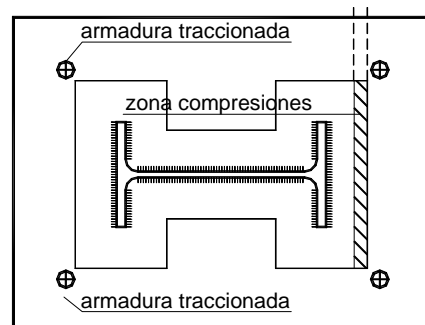
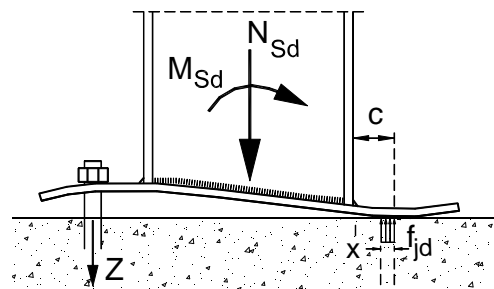


Figura 3. Solicitaciones en la placa

Obtenidos dichos valores, se comprueba que las dimensiones de la placa son suficientes (dimensiones en planta y espesor) y se dimensionan las armaduras de tracción (área y longitud de anclaje) disponiéndose las mismas armaduras en la zona de compresión. Véase diseño el artículo docente "Diseño y cálculo de las placas de anclaje a flexocompresión" (<http://hdl.handle.net/10251/10883>)

4.3 Comprobación de los elementos de la placa cuando el soporte está solicitado a compresión simple

Para aquellas combinaciones en que el extremo del soporte esté solicitado a compresión simple, se deberán comprobar las siguientes condiciones:

4.3.1 Comprobación de las dimensiones en planta.

Se debe comprobar que la tensión resultante en la superficie de la placa de anclaje sea menor a la resistencia a compresión del hormigón confinado, calculado para las comprobaciones del epígrafe 4.2: $\sigma_{max} < f_{jd}$ siendo $\sigma_{max} = \sigma_{med} = \frac{N_{Ed}}{A_p} \leq f_{jd}$

4.3.2 Comprobación del espesor de la chapa

Se debe comprobar que el espesor adoptado para la chapa es suficiente.

Para ello se debe cumplir la desigualdad: $M_{pl,Rd} > M_{Ed}$

Siendo $M_{pl,Rd}$ el momento resistente plástico de una sección rectangular de ancho unidad y espesor t calculado para las comprobaciones del epígrafe 4.2

M_{Ed} el máximo momento sollicitación en la placa. En este caso el valor no coincide con el de las comprobaciones del epígrafe 4.2 al ser diferente el esquema de carga (véase figura 4)

$$M_{Ed} = \frac{q \cdot L^2}{2}$$

donde $q = \sigma_{med} (N/mm^2) \cdot 1 mm$ y $L = c$

siendo el valor de σ_{med} el obtenido en el epígrafe 4.3.1

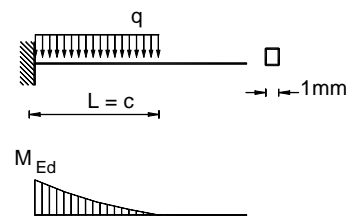


Figura 4. Diagrama de flectores

4.3.3 Dimensionado de las armaduras

- Las dos condiciones que deben cumplir el área de las armaduras, A_s son:

$$A_s \cdot f_{yd} \geq 0,1 \cdot N_{Ed}$$

$$A_s \geq 4\% \cdot A_{placa}$$

Siendo A_s el área de **todas** las armaduras dispuestas en el epígrafe 4.2 (las traccionadas y las comprimidas)

- Siendo la longitud mínima de anclaje para armaduras comprimidas igual al mayor valor de los siguientes (condiciones diferentes a las del epígrafe 4.2)

$$l_{b,min} \geq \left\{ 10 \cdot \phi; \quad 150 \text{ mm}; \quad \frac{2}{3} \cdot l_b \right\} \text{ donde } l_b \text{ es la longitud básica de anclaje calculada}$$

en el epígrafe anterior.

4.4 Comprobación de las armaduras cuando el soporte está solicitado a tracción

Cuando el soporte está solicitado a tracción, la placa de reparto no tiene ninguna función, ya que el axil tiende a separarla de la cimentación.

No obstante, dado que se trata de diseñar una base de soporte que sea capaz de transmitir flexocompresiones, compresiones o tracciones a la cimentación, se debe comprobar a tracción la base diseñada en la figura 1.

4.4.1 Dimensionado de las armaduras

- Área de las armaduras: la condición a cumplir es: $A_s \cdot f_{ys} \geq N_{Ed}$

Siendo N_{Ed} el axil de tracción que solicita al soporte y A_s el área de todas las armaduras dispuestas en la placa.

- La longitud de anclaje que garantiza que se transmiten los esfuerzos de tracción al hormigón por adherencia será al menos igual a la longitud básica neta, cuyo valor se obtiene, a partir de la longitud básica, con la expresión siguiente:

$$l_{b,net} = l_b \cdot \beta \cdot \frac{A_s}{A_{s,real}} \geq l_{b,min}$$

donde $\beta = 1$ al ser un caso de tracción en prolongación recta, l_b es la longitud básica neta obtenida en el epígrafe 4.2 y la longitud mínima será igual al mayor de los

$$\text{siguientes valores: } l_{b,min} \geq \left\{ 10 \cdot \phi; \quad 150 \text{ mm}; \quad \frac{1}{3} \cdot l_b \right\}$$

4.4.2 Comprobación del espesor de la placa:

Considerando el esquema de carga de la figura 5, se debe comprobar que el espesor adoptado para la chapa es suficiente.

Para ello se debe cumplir la desigualdad: $M_{pl,Rd} > M_{Ed}$

Siendo M_{Ed} el máximo momento flector en la placa, que se produce en la sección 1 (figura 6), de valor:

$$M_{Ed,max} = \frac{1}{2} \cdot N_{Ed} \cdot \left(\frac{a}{2} - \frac{h_c}{2} \right)$$

Para poder compararlo con el momento resistente plástico de una sección rectangular de ancho unidad obtenido en las comprobaciones anteriores, el momento obtenido se debe dividir por la profundidad de la placa (b en la figura 5):

$$M_{Ed} = \frac{1}{b} \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot N_{Ed} \cdot \left(\frac{a}{2} - \frac{h_c}{2} \right) \right]$$

Siendo $M_{pl,Rd} = \frac{t^2 \cdot f_y}{4 \cdot \gamma_{M0}}$

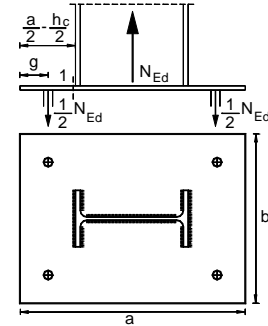


Figura 5. Esquema de carga

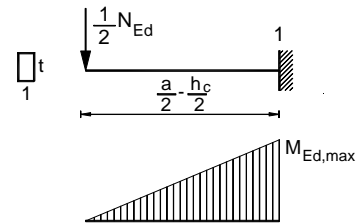


Figura 6. Diagrama de flectores

4.4.3 Peso propio de la cimentación

Finalmente, para garantizar que la estructura solicitada a tracción está perfectamente anclada al terreno, el peso del dado de hormigón (G) al que se ancla el extremo del soporte, deberá compensar el axil de tracción, verificando que $G \geq 2,5 \cdot N_{Ed}$

5 Detalle constructivo de la placa de anclaje dimensionada

Con los cálculos realizados se debe dibujar el detalle constructivo de la placa de anclaje, indicando las dimensiones y materiales de todos los elementos que forman parte de la misma y que satisfacen las condiciones de todas las situaciones consideradas: flexocompresión, compresión simple y tracción.

En la figura 7 se dibuja el detalle constructivo de un ejemplo de placa de anclaje, donde el soporte es un IPE 200 de acero S 275, las dimensiones de la placa son $300 \times 400 \times 15 \text{ mm}$ de espesor, y las armaduras, de acero de armar B 500 S son $4 \phi 16$ situadas a 50 mm de la cara exterior del soporte y a 50 mm del borde de la placa.

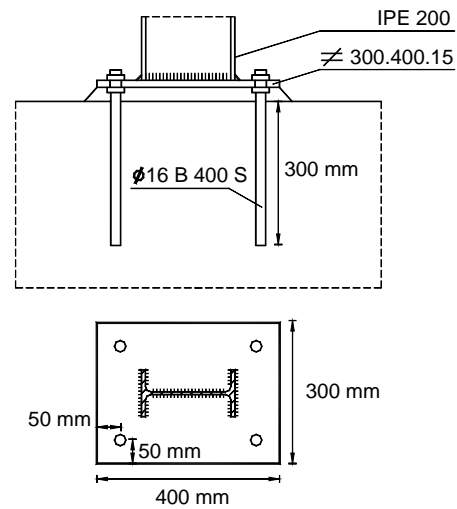


Figura 7. Detalle constructivo

6 Conclusiones

El proceso de diseño de una base de soporte solicitada a flexocompresión, compresión simple o tracción a lo largo de su vida útil, consiste en diseñar una placa de anclaje considerando que se encuentra inicialmente solicitada a flexocompresión, teniendo en cuenta las dimensiones de la sección del soporte y las condiciones que garantizan la transmisión de momentos flectores, esto es, disponiendo las armaduras como en la figura 1, y soldando éste perimetralmente a la placa.

Una vez diseñada la placa, se comprueban las dimensiones de la misma y se dimensionan las armaduras para garantizar la transmisión del momento flector y el axil de compresión correspondientes a la combinación que produce flexocompresiones en el extremo del soporte (epígrafe 4.2)

A continuación se comprueba que la placa diseñada cumple las condiciones correspondientes al caso de compresión simple en lo que respecta a las dimensiones de la chapa y el dimensionado de las armaduras, redimensionando, si es el caso, aquellos elementos que no cumplan para la situación de compresión simple (epígrafe 4.3)

Finalmente se comprueba que las armaduras dispuestas son capaces de transmitir el axil de tracción cuando el soporte se encuentra solicitado exclusivamente a dicho esfuerzo, y se dimensiona el dado de hormigón de la cimentación para que compense la fuerza de tracción (epígrafe 4.4)

Por último, no hay que olvidar que el objetivo último del diseño y cálculo de la base del soporte es que ésta sea construida en taller, de modo que el resultado del proceso de diseño y cálculo de la placa de anclaje es el detalle constructivo de la misma, del tipo del de la figura 7, en el que deben quedar indicadas las dimensiones y materiales de todos los elementos que forman la placa.

7 ACTIVIDAD PROPUESTA

Para terminar, se propone la siguiente actividad para consolidar el conocimiento aprendido: Diseñar la base del soporte AB del pórtico de la figura 8 para las tres combinaciones de hipótesis de carga indicadas, considerando que es un HEB 220.

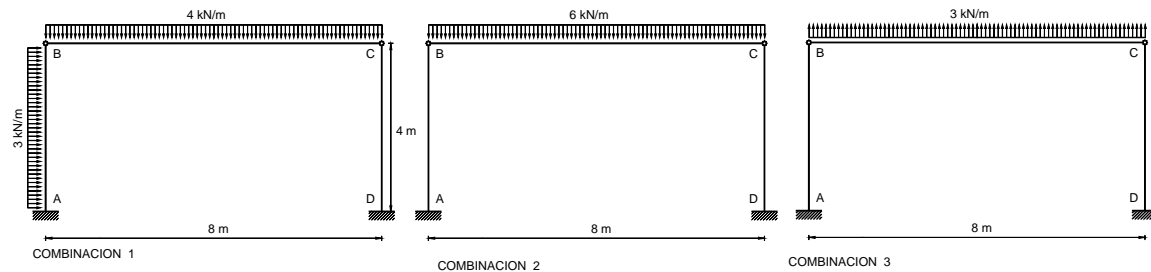


Figura 8. Combinaciones de hipótesis de carga

Nota: Una de las posibles soluciones se incluye en el Anejo A de este documento.

8 Bibliografía

8.1 Libros:

- [1] MINISTERIO de la VIVIENDA: "Documento Básico Seguridad Estructural, Acero", Código Técnico de Edificación. Disponible en: <http://www.codigotecnico.org>
- [2] MINISTERIO de FOMENTO: Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08 Disponible en: http://www.fomento.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/INFORMACION_MFOM/PUBLICACIONES/PUB_OF_LINE_A/NORMATIVA_TEC/ehe08.htm
- [3] Monfort Leonart, J.: "Estructuras Metálicas en Edificación adaptado al CTE" Editorial Universidad Politécnica de Valencia ISBN 84-8363-021-4
- [4] Ejemplos prácticos resueltos en "Problemas de estructuras metálicas adaptados al Código Técnico" capítulo 4. Autores: Monfort Leonart, J. Pardo Ros, J.L., Guardiola Villora, A. Ed. Universidad Politécnica de Valencia.

8.2 Otras fuentes:

- [1] Objeto docente "Diseño y cálculo de las placas de anclaje a flexocompresión" Autora: Arianna Guardiola Villora. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/10883>
- [2] Polimedia "Bases de soporte a flexocompresión". Autora: Arianna Guardiola Villora. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/7817>
- [3] Polimedia "Diseño y cálculo de las bases simples de soporte en compresión simple" Autora: Arianna Guardiola Villora. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/16432>

8.3 Figuras:

Todos los dibujos incluidos en este documento han sido realizados por Guardiola Villora, A.

ANEJO A

En la figura 9 se propone una posible solución constructiva para la base del soporte propuesta.

Las dimensiones de los elementos se han calculado considerando que las dimensiones de la zapata son 150x100x100 cm, que el hormigón utilizado es HA 25, y los anclajes son de acero B 500 S.

No obstante hay muchos otros detalles constructivos que satisfacen las condiciones de base empotrada, solicitada a flexocompresión, compresión simple y tracción.

El alumno debe ser capaz de diseñar, y comprobar los distintos elementos que forman parte de la base del soporte para cada una de las situaciones estudiadas, justificando la solución adoptada, a pesar de no coincidir con la propuesta en este apartado.

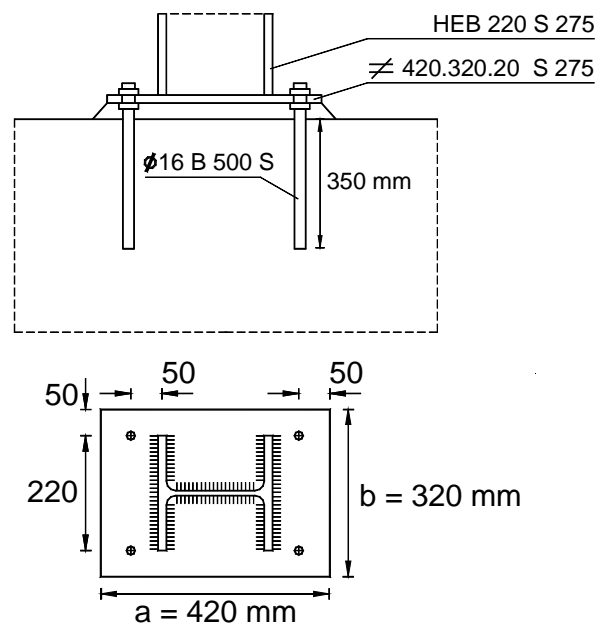


Figura 9. Detalle constructivo de la placa de anclaje