

Manual del usuario de Elementos de cimentación

Elementos de cimentación

Manual del usuario



Software *para*
**Arquitectura,
Ingeniería y
Construcción**

CYPE Ingenieros, S.A.
Avda. Eusebio Sempere, 5
03003 **Alicante**
Tel. (+34) 965 92 25 50
Fax (+34) 965 12 49 50
cype@cype.com

CYPE Madrid
Augusto Figueroa, 32-34, bajo
28004 Madrid
Tel. (+34) 915 22 93 10
Fax (+34) 915 31 97 21
cype.madrid@cype.com

CYPE Catalunya
Almogàvers, 64-66, 2º A
08018 Barcelona
Tel. (+34) 934 85 11 02
Fax (+34) 934 85 56 08
cype.catalunya@cype.com

www.cype.com

Elementos de cimentación

Elementos de cimentación calcula elementos de cimentación de varios tipos: Encepados de pilotes, placas de anclaje, zapatas y vigas centradoras.

Realiza el dimensionamiento automático, calcula las dimensiones del elemento de cimentación, armados, etc. y comprueba la introducción de datos. Las comprobaciones efectuadas incluyen las de la norma, así como criterios de diversos autores y propios.

Elementos de cimentación	5
1. Memoria de cálculo	5
1.1. Zapatas aisladas	5
1.1.1. Tensiones sobre el terreno	6
1.1.2. Estados de equilibrio	6
1.1.3. Estados de hormigón	6
1.2. Vigas centradoras	8
1.3. Encepados (sobre pilotes)	9
1.3.1. Criterios de cálculo	9
1.3.2. Criterio de signos	10
1.3.3. Consideraciones de cálculo y geometría	10
1.4. Placas de anclaje	11
1.5. Zapatas de hormigón en masa	13
1.5.1. Cálculo de zapatas como sólido rígido	13
1.5.2. Cálculo de la zapata como estructura de hormigón en masa	13
1.5.3. Listado de comprobaciones	14

Elementos de cimentación

1. Memoria de cálculo

En el presente apartado se indican las consideraciones generales tenidas en cuenta para la comprobación y dimensionado de los elementos de cimentación (también definibles en **CYPECAD**, **Metal 3D** o **Nuevo Metal 3D**) bajo soportes verticales del edificio.

En este manual se explica su utilización también como un editor, por lo que podrá introducir elementos de cimentación sin calcular, y obtener planos y mediciones.

1.1. Zapatas aisladas

Efectúa el cálculo de zapatas de hormigón armado y en masa. Siendo el tipo de zapatas a resolver los siguientes:

- Zapatas de canto constante
- Zapatas de canto variable o piramidales

En planta se clasifican en:

- Cuadradas
- Rectangulares centradas
- Rectangulares excéntricas (caso particular: medianeras y de esquina)

Las cargas transmitidas por los soportes se transportan al centro de la zapata obteniendo su resultante. Los esfuerzos transmitidos pueden ser:

- N: axil
- M_x : momento x
- M_y : momento y
- Q_x : cortante x
- Q_y : cortante y
- T: torsor

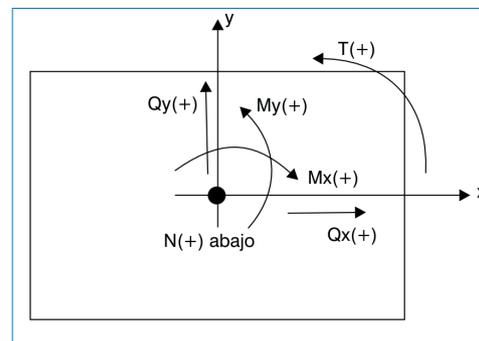


Fig. 1.1

Las hipótesis consideradas pueden ser: Peso propio, Sobrecarga, Viento, Nieve y Sismo.

Los estados a comprobar son:

- Tensiones sobre el terreno
- Equilibrio
- Hormigón (flexión y cortante)

Se puede realizar un dimensionado a partir de las dimensiones por defecto definidas en las opciones del programa, o de unas dimensiones dadas. También se puede simplemente obtener el armado a partir de una geometría determinada. La comprobación consiste en verificar los aspectos normativos de la geometría y armado de una zapata.

1.1.1. Tensiones sobre el terreno

Se supone una ley de deformación plana para la zapata, por lo que se obtendrán, en función de los esfuerzos, unas leyes de tensiones sobre el terreno de forma trapecial. No se admiten tracciones, por lo que, cuando la resultante se salga del núcleo central, aparecerán zonas sin tensión.

La resultante debe quedar dentro de la zapata, pues si no es así no habría equilibrio. Se considera el peso propio de la zapata.

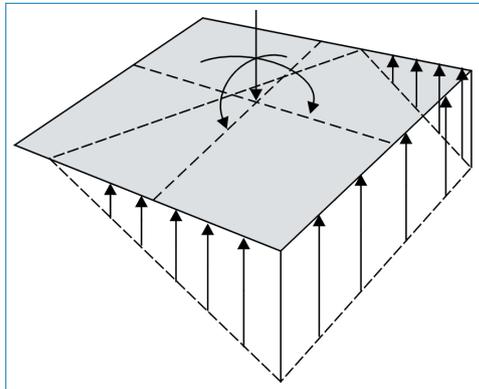


Fig. 1.2

Se comprueba que:

- La tensión media no supere la del terreno.
- La tensión máxima en borde no supere en un % la media según el tipo de combinación:
 - gravitatoria: 25 %
 - con viento: 33 %
 - con sismo: 50 %

Estos valores son opcionales y se pueden modificar.

1.1.2. Estados de equilibrio

Aplicando las combinaciones de estado límite correspondientes, se comprueba que la resultante queda dentro de la zapata.

El exceso respecto al coeficiente de seguridad se expresa mediante el concepto % de reserva de seguridad:

$$\left(\frac{0.5 \times \text{ancho zapata}}{\text{excentricidad resultante}} - 1 \right) \times 100$$

Si es cero, el equilibrio es el estricto, y si es grande indica que se encuentra muy del lado de la seguridad respecto al equilibrio.

1.1.3. Estados de hormigón

Se debe verificar la flexión de la zapata y las tensiones tangenciales.

Momentos flectores

En el caso de pilar único, se comprueba con la sección de referencia situada a 0.15 la dimensión del pilar hacia su interior.

Se efectúa en ambas direcciones x e y, con pilares metálicos y placa de anclaje, en el punto medio entre borde de placa y perfil.

Cortantes

La sección de referencia se sitúa a un canto útil de los bordes del soporte.

Anclaje de las armaduras

Se comprueba el anclaje en sus extremos de las armaduras, colocando las patillas correspondientes en su caso, y según su posición.

Cantos mínimos

Se comprueba el canto mínimo especificado por la norma.

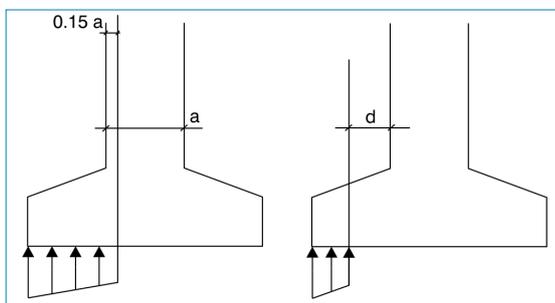


Fig. 1.3

Separación de armaduras

Se comprueba las separaciones mínimas entre armaduras de la norma, que en caso de dimensionamiento se toma un mínimo práctico de 10 cm.

Cuantías mínimas y máximas

Se comprueba el cumplimiento de las cuantías mínimas, mecánicas y geométricas que especifique la norma.

Diámetros mínimos

Se comprueba que el diámetro no sea superior al mínimo indicado en la norma.

Dimensionado

El dimensionado a flexión obliga a disponer cantos para que no sea necesaria armadura de compresión. El dimensionado a cortante, igualmente, para no tener que colocar refuerzo transversal.

Comprobación a compresión oblicua

Se realiza en el borde de apoyo, no permitiendo superar la tensión en el hormigón por rotura a compresión oblicua. Dependiendo del tipo de soporte, se pondera el axil del soporte por:

- Soportes interiores: 1.15
- Soportes medianeros: 1.4
- Soporte esquina: 1.5

Para tener en cuenta el efecto de la excentricidad de las cargas.

Se dimensionan zapatas rígidas siempre, aunque en comprobación solamente se avisa de su no cumplimiento en su caso:

$$\frac{\text{vuelo}}{\text{canto}} \leq 2$$

Se dispone de unas opciones de dimensionamiento de manera que el usuario pueda escoger la forma de crecimiento de la zapata, o fijando alguna dimensión, en función del tipo de zapata. Los resultados, lógicamente, pueden ser diferentes según la opción seleccionada.

Cuando la ley de tensiones no ocupe toda la zapata, pueden aparecer tracciones en la cara superior por el peso de la zapata en voladizo, colocándose una armadura superior si fuese necesario.

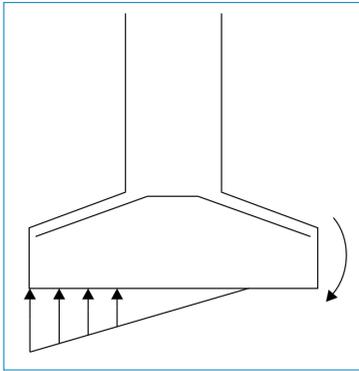


Fig. 1.4

1.2. Vigas centradoras

El programa calcula vigas centradoras de hormigón armado entre cimentaciones.

Las vigas centradoras se utilizan para el centrado de zapatas y encepados. Existen dos tipos:

- momentos negativos:  $A_s > A_i$
- momentos positivos:  armado simétrico

Existen unas tablas de armado para cada tipo, definibles y modificables.

Los esfuerzos sobre las vigas centradoras son:

- Momentos y cortantes necesarios para su efecto de centrado.
- No admite cargas sobre ella, ni se considera su peso propio. Se supone que las transmiten al terreno sin sufrir esfuerzos.
- Los esfuerzos que reciben, cuando son varias, un elemento zapata o encepado son proporcionales a sus rigideces.

Si su longitud es menor de 25 cm, se emite un aviso de viga corta.

Existe una tabla de armado para cada tipo, comprobándose su cumplimiento para los esfuerzos a los que se encuentra sometida.

Se realizan las siguientes comprobaciones:

- diámetro mínimo de la armadura longitudinal
- diámetro mínimo de la armadura transversal
- cuantía geométrica mínima de tracción
- cuantía mecánica mínima (se acepta reducción)
- cuantía máxima de armadura longitudinal
- separación mínima entre armaduras longitudinales
- separación mínima entre cercos
- separación máxima de la armadura longitudinal
- separación máxima de cercos
- ancho mínimo de vigas ($\geq 1/20$ luz)
- canto mínimo de vigas ($\geq 1/12$ luz)
- comprobación a fisuración (0.3 mm)
- longitud anclaje armadura superior
- longitud anclaje armadura de piel
- longitud anclaje armadura inferior
- comprobación a flexión (no tener armadura de compresión)
- comprobación a cortante (hormigón + estribos resisten el cortante)

Se admite una cierta tolerancia en el ángulo de desvío de la viga centradora cuando entra por el borde de la zapata (15°).

Existe una opción que permite fijar una cuantía geométrica mínima de tracción.

Hay unos criterios para disponer la viga respecto a la zapata, en función el canto relativo entre ambos elementos, enrasándola por la cara superior o inferior.

Para todas las comprobaciones y dimensionado se utilizan las combinaciones de vigas centradoras como elemento de hormigón armado, excepto para fisuración que se utilizan las de tensiones sobre el terreno.

1.3. Encepados (sobre pilotes)

El programa calcula encepados de hormigón armado sobre pilotes de sección cuadrada o circular de acuerdo a las siguientes tipologías:

- 1 pilote. (A)
- 2 pilotes. (B)
- 3 pilotes. (C)
- 4 pilotes. (D)
- Lineal. Puede elegir el número de pilotes. Por defecto son 3. (B)
- Rectangular. Puede elegir el número de pilotes. Por defecto son 9. (D)
- Rectangular sobre 5 pilotes (uno central). (D)
- Pentagonal sobre 5 pilotes. (C)
- Pentagonal sobre 6 pilotes. (C)
- Hexagonal sobre 6 pilotes. (C)
- Hexagonal sobre 7 pilotes (uno central) (C)

1.3.1. Criterios de cálculo

Los encepados **tipo A** se basan en el modelo de cargas concentradas sobre macizos. Se arman con cercos verticales y horizontales (opcionalmente con diagonales).

Los encepados **tipo B** se basan en modelos de bielas y tirantes. Se arman como vigas, con armadura longitudinal inferior, superior y piel, y cercos verticales.

Los encepados **tipo C** se basan en modelos de bielas y tirantes. Se pueden armar con vigas laterales, diagonales, parrillas inferiores y superiores, y armadura perimetral de zunchado.

Los encepados **tipo D** se basan en modelos de bielas y tirantes. Se pueden armar con vigas laterales, diagonales (salvo el rectangular), parrillas inferiores y superiores.

Cualquier encepado se puede comprobar o dimensionar. La comprobación consiste en verificar los aspectos geométricos y mecánicos con unas dimensiones y armadura dadas. Pueden definirse o no cargas.

El dimensionado necesita cargas y, a partir de unas dimensiones mínimas que toma el programa (dimensionado completo) o de unas dimensiones iniciales que aporta el usuario (dimensiones mínimas), se obtiene (si es posible) una geometría y armaduras de acuerdo a la norma y opciones definidas.

Siendo la norma EHE la que mayor información y análisis suministra para el cálculo de encepados, se ha adoptado como norma básica para los encepados, siempre rígidos. En aquellos casos en los que ha sido posible, se han aplicado otras normas, tales como la ACI-318/95, CIRSOC, NB-1, EH-91, bibliografía técnica como el libro de '*Estructuras de cimentación*' de Marcelo da Cunha Moraes, y criterios de **CYPE Ingenieros**.

En los listados de comprobación se hace referencia a la norma aplicada y artículos.

1.3.2. Criterio de signos

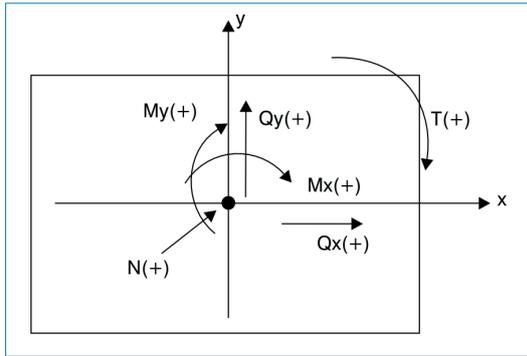


Fig. 1.5

1.3.3. Consideraciones de cálculo y geometría

Al definir un encepado, necesita también indicar los pilotes, tipo, número y posición. Es un dato del pilote su capacidad portante, es decir, la carga de servicio que es capaz de soportar (sin mayorar).

Previamente será necesario calcular la carga que reciben los pilotes, que serán el resultado de considerar el peso propio del encepado, las acciones exteriores y la aplicación de la fórmula clásica de Navier:

$$P_i = \frac{N}{n^{\circ} \text{pilotes}} + M_x \cdot \frac{x_i}{\sum x_i^2} + M_y \cdot \frac{y_i}{\sum y_i^2}$$

con las combinaciones de tensiones sobre el terreno.

El pilote más cargado se compara en su capacidad portante y, si la supera, se emite un aviso.

Cuando se define un pilote, se pide la distancia mínima entre pilotes. Este dato lo debe proporcionar el usuario (valor por defecto 1.00 m) en función del tipo de pilote, diámetro, terreno, etc.

Al definir un encepado de más de un pilote, debe definir las distancias entre ejes de pilotes (1.00 m por defecto). Se comprueba que dicha distancia sea superior a la distancia mínima.

La comprobación y dimensionado de encepados se basa en la carga máxima del pilote más cargado aplicando las combinaciones de hormigón seleccionadas a las cargas por hipótesis definidas.

Si quiere que todos los encepados de una misma tipología tengan una geometría y armado tipificado para un mismo tipo de pilote, dispone de una opción en encepados, que se llama **Cargas por pilote**, que al activarla permite unificar los encepados, de manera que pueda dimensionar el encepado para la capacidad portante del pilote.

En este caso, defina un coeficiente de mayoración de la capacidad portante (coeficiente de seguridad para considerarlo como una combinación más) denominado **Coficiente de aprovechamiento del pilote** (1.5 por defecto).

Si no quiere considerar toda la capacidad portante del pilote, puede definir un porcentaje de la misma, que se ha llamado 'Fracción de cargas de pilotes', variable entre 0 y 1 (1 por defecto). En este caso, el programa determinará el máximo entre el valor anterior, que es función de la capacidad portante, y el máximo de los pilotes por las cargas exteriores aplicadas.

En algunas zonas y países es una práctica habitual, pues se obtiene un único encepado por diámetro y número de pilotes, simplificando la ejecución. Esta opción está desactivada por defecto.

Respecto a los esfuerzos, se realizan las siguientes comprobaciones:

- Tracciones en los pilotes: tracción máxima \geq 10% de la compresión máxima.

- Momentos flectores: será necesario disponer vigas centradoras.
- Cortantes excesivos: si el cortante en alguna combinación supera el 3% del axil con viento, o en otras combinaciones de la conveniencia de colocar pilotes inclinados.
- Torsiones, si existen tales definidas en las cargas.

Si introduce vigas centradoras, éstas absorberán los momentos en la dirección en la que actúen. En encepados de 1 pilote son siempre necesarias en ambas direcciones. En encepados de 2 pilotes y lineales lo son en la dirección perpendicular a la línea de pilotes.

El programa no considera ninguna excentricidad mínima o constructiva, aunque suele ser habitual considerar para evitar replanteos incorrectos de los pilotes o del propio encepado un 10% del axil.

Incrementa los momentos en esta cantidad $0.10 \times N$ en las hipótesis de cargas correspondientes si lo considera necesario.

Si actúa más de una viga centradora en la misma dirección, se repartirá proporcionalmente a sus rigideces el momento. Comprobaciones que realiza:

Comprobaciones generales:

- aviso de pantalla
- vuelo mínimo desde el perímetro del pilote
- vuelo mínimo desde el eje del pilote
- vuelo mínimo desde el pilar
- ancho mínimo pilote
- capacidad portante del pilote

Comprobaciones particulares:

- Para cada tipo de encepado se realizan las comprobaciones geométricas y mecánicas que indica la norma. Le recomendamos que realice un ejemplo de cada tipo y obtenga el listado de comprobación, en donde puede verificar todas y cada una de las comprobaciones realizadas, avisos emitidos y referencias a los artículos de la norma o criterio utilizado por el programa.
- De los encepados puede obtener listados de los datos introducidos, medición de los encepados, tabla de pilotes, y listado de comprobación.
- En cuanto a los planos, podrá obtener gráficamente la geometría y armaduras obtenidas así como un cuadro de medición y resumen.

1.4. Placas de anclaje

En la comprobación de una placa de anclaje, la hipótesis básica asumida por el programa es la de placa rígida o hipótesis de Bernouilli. Esto implica suponer que la placa permanece plana ante los esfuerzos a los que se ve sometida, de forma que se pueden despreciar sus deformaciones a efectos del reparto de cargas. Para que esto se cumpla, la placa de anclaje debe ser simétrica (lo que siempre garantiza el programa) y suficientemente rígida (espesor mínimo en función del lado).

Las comprobaciones que se deben efectuar para validar una placa de anclaje se dividen en tres grupos, según el elemento comprobado: hormigón de la cimentación, pernos de anclaje y placa propiamente dicha, con sus rigidizadores, si los hubiera.

- 1. Comprobación sobre el hormigón.** Consiste en verificar que en el punto más comprimido bajo la placa no se supera la tensión admisible del hormigón. El método usado es el de las tensiones admisibles, suponiendo una distribución triangular de tensiones sobre el

hormigón que sólo pueden ser de compresión. La comprobación del hormigón sólo se efectúa cuando la placa está apoyada sobre el mismo, y no se tiene un estado de tracción simple o compuesta. Además, se desprecia el rozamiento entre el hormigón y la placa de anclaje, es decir, la resistencia frente a cortante y torsión se confía exclusivamente a los pernos.

2. Comprobaciones sobre los pernos. Cada perno se ve sometido, en el caso más general, a un esfuerzo axil y un esfuerzo cortante, evaluándose cada uno de ellos de forma independiente. El programa considera que en placas de anclaje apoyadas directamente en la cimentación, los pernos sólo trabajan a tracción. En caso de que la placa esté a cierta altura sobre la cimentación, los pernos podrán trabajar a compresión, haciéndose la correspondiente comprobación de pandeo sobre los mismos (se toma el modelo de viga biempotrada, con posibilidad de corrimiento relativo de los apoyos normal a la directriz: $b = 1$) y la traslación de esfuerzos a la cimentación (aparece flexión debida a los cortantes sobre el perfil). El programa hace tres grupos de comprobaciones en cada perno:

A. Tensión sobre el vástago. Consiste en comprobar que la tensión no supere la resistencia de cálculo del perno.

B. Comprobación del hormigón circundante. A parte del agotamiento del vástago del perno, otra causa de su fallo es la rotura del hormigón que lo rodea por uno o varios de los siguientes motivos:

- Deslizamiento por pérdida de adherencia.
- Arrancamiento por el cono de rotura.
- Rotura por esfuerzo cortante (concentración de tensiones por efecto cuña).

Para calcular el cono de rotura de cada perno, el programa supone que la generatriz del mismo forma 45° con su eje. Se tiene en cuenta la reducción de área

efectiva por la presencia de otros pernos cercanos, dentro del cono de rotura en cuestión.

No se tienen en cuenta los siguientes efectos, cuya aparición debe ser verificada por el usuario:

- Pernos muy cercanos al borde de la cimentación. Ningún perno debe estar a menos distancia del borde de la cimentación, que su longitud de anclaje, ya que se reduciría el área efectiva del cono de rotura y además aparecería otro mecanismo de rotura lateral por cortante no contemplado en el programa.
- Espesor reducido de la cimentación. No se contempla el efecto del cono de rotura global que aparece cuando hay varios pernos agrupados y el espesor del hormigón es pequeño.
- El programa no contempla la posibilidad de emplear pernos pasantes, ya que no hace las comprobaciones necesarias en este caso (tensiones en la otra cara del hormigón).

C. Aplastamiento de la placa. El programa también comprueba que, en cada perno, no se supera el cortante que produciría el aplastamiento de la placa contra el perno.

3. Comprobaciones sobre la placa

Cálculo de tensiones globales. El programa construye cuatro secciones en el perímetro del perfil, comprobando todas frente a tensiones. Esta comprobación sólo se hace en placas con vuelo (no se tienen en cuenta los pandeos locales de los rigidizadores, y usted debe comprobar que sus respectivos espesores no les dan una esbeltez excesiva).

Cálculo de tensiones locales: Se trata de comprobar todas las placas locales en las que perfil y rigidizadores dividen a la placa de anclaje propiamente dicha. Para cada una de estas placas locales, partiendo de la distribución de tensiones en el hormigón y de axiles en los pernos, se calcula su flector ponderado pésimo, com-

parándose con el flector de agotamiento plástico. Esto parece razonable, ya que para comprobar cada placa local se supone el punto más pésimo de la misma, donde se obtiene un pico local de tensiones que puede rebajarse por la aparición de plastificación, sin disminuir la seguridad de la placa.

1.5. Zapatas de hormigón en masa

Las zapatas de hormigón en masa son aquellas en las que los esfuerzos en estado límite último son resistidos exclusivamente por el hormigón.

Sin embargo, en el programa se pueden colocar parrillas en las zapatas, pero el cálculo se realizará como estructura débilmente armada, es decir, como estructuras en las que las armaduras tienen la misión de controlar la fisuración debida a la retracción y a la contracción térmica, pero que no se considerarán a efectos resistentes, es decir, para resistir los esfuerzos.

Conviene señalar que, en contra de la opinión bastante extendida que existe, *las estructuras de hormigón en masa requieren cuidados en su proyecto y ejecución más intensos que las de hormigón armado o pretensado.*

1.5.1. Cálculo de zapatas como sólido rígido

El cálculo de la zapata como sólido rígido comprende, en las zapatas aisladas, dos comprobaciones:

- Comprobación de vuelco.
- Comprobación de las tensiones sobre el terreno.

Estas dos comprobaciones son idénticas a las que se realizan en las zapatas de hormigón armado.

1.5.2. Cálculo de la zapata como estructura de hormigón en masa

En este apartado es en el que se presentan las diferencias fundamentales con las zapatas de hormigón armado. A continuación se exponen las tres comprobaciones que se realizan para el cálculo estructural de las zapatas de hormigón en masa.

Comprobación de flexión

Las secciones de referencia que se emplean para el cálculo a flexión en las zapatas de hormigón en masa son las mismas que en las zapatas de hormigón armado.

En todas las secciones se debe verificar que las tensiones de flexión, en la hipótesis de deformación plana, producidas bajo la acción del momento flector de cálculo, han de ser inferiores a la resistencia a la flexotracción dada por la siguiente fórmula:

$$f_{ck,min} = 1.43 \times \left(\frac{16.75 + h^{0.7}}{h^{0.7}} \right) \times f_{ctd,min}$$

$$f_{ctd,min} = \frac{0.21}{1.5} \times \sqrt[3]{f_{ck}^2}$$

En las fórmulas anteriores f_{ck} está en N/mm² y h (canto) en milímetros.

Comprobación de cortante

Las secciones de referencia que se emplean para el cálculo a cortante son las mismas que en las zapatas de hormigón armado.

En todas las secciones se debe verificar que la tensión tangencial máxima producida por el cortante no debe sobrepasar el valor de $f_{ct,d}$, el cual viene dado por:

$$f_{ct,d} = \frac{0.21}{1.5} \times \sqrt[3]{f_{ck}^2}$$

Comprobación de compresión oblicua

La comprobación de agotamiento del hormigón por compresión oblicua se realiza en el borde del apoyo, y se comprueba que la tensión tangencial de cálculo en el perímetro del apoyo sea menor o igual a un determinado valor máximo.

Esta comprobación se hará igual para todas las normas, aplicando el artículo 46.4 de la norma española **EHE**. Dicho artículo establece lo siguiente:

$$\tau_{sd} \leq \tau_{rd}$$

$$\tau_{sd} = \frac{F_{sd,ef}}{u_0 d}$$

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

$$\tau_{rd} = f_{tcd} = 0.30 f_{cd}$$

Donde:

- f_{cd} es la resistencia de cálculo del hormigón a compresión simple.
- F_{sd} es el esfuerzo axial que transmite el soporte a la zapata.
- β es un coeficiente que tiene en cuenta la excentricidad de la carga. Cuando no hay transmisión de momentos entre el soporte y la zapata, dicho coeficiente vale la unidad. En el caso en que se transmitan momentos, según la posición del pilar, el coeficiente toma los valores indicados en la tabla siguiente.

	β
Soportes Interiores	1.15
Soportes medianeros	1.4
Soportes de esquina	1.5

Valores del coeficiente de excentricidad de la carga

- u_0 es el perímetro de comprobación, que toma los siguientes valores:
 - En soportes interiores vale el perímetro del soporte.
 - En soportes medianeros vale:

$$u_0 = c_1 + 3d \leq c_1 + 2c_2$$
 - En soportes de esquina vale: $u_0 = 3d \leq c_1 + c_2$

Donde c_1 es el ancho del soporte paralelo al lado de la zapata en el que el soporte es medianero y c_2 es el ancho del soporte en la dirección perpendicular a la medianera.

- d es el canto útil de la zapata.

Esta comprobación se realiza en todos los soportes que llegan a la zapata y para todas las combinaciones del grupo de combinaciones de hormigón.

En el listado de comprobaciones aparece la tensión tangencial máxima obtenida recorriendo todos los pilares y todas las combinaciones.

Como se puede observar, esta comprobación es análoga a la que se realiza en las zapatas de hormigón armado.

1.5.3. Listado de comprobaciones

En este apartado se comentarán las comprobaciones que se realizan en el caso de zapatas de hormigón en masa, tanto de canto constante como de canto variable o piramidales.

Comprobación de canto mínimo

Se trata de comprobar que el canto de las zapatas es mayor o igual al valor mínimo que indican las normas para las zapatas de hormigón en masa.

En el caso de las zapatas piramidales o de canto variable, esta comprobación se realiza en el borde.

Comprobación de canto mínimo para anclar arranques

Se comprueba que el canto de la zapata es igual o superior al valor mínimo que hace falta para anclar la armadura de los pilares o los pernos de las placas de anclaje que apoyan sobre la zapata.

En el caso de las zapatas piramidales, el canto que se comprueba es el canto en el pedestal.

Comprobación de ángulo máximo del talud

Esta comprobación es análoga a la que se realiza en el caso de zapatas de hormigón armado.

Comprobación del vuelco

La comprobación de vuelco es análoga a la que se realiza en las zapatas de hormigón armado.

Comprobación de tensiones sobre el terreno

Las comprobaciones de tensiones sobre el terreno son análogas a las que se realizan en las zapatas de hormigón armado.

Comprobación de flexión

La comprobación se realiza de acuerdo a lo indicado en el apartado 2.1, y los datos que se muestran en el listado de comprobaciones para cada dirección se indican a continuación.

En el caso en que todas las secciones cumplan la comprobación de flexión para una dirección:

- El momento de cálculo pésimo que actúa sobre la sección.
- En el apartado de información adicional aparece el coeficiente de aprovechamiento máximo, que es la mayor relación entre el esfuerzo solicitante y el esfuerzo resistente.

Si alguna sección no cumple, los datos que se muestran en el listado de comprobaciones para dicha dirección son los siguientes:

- El primer momento flector que se ha encontrado para el cual la sección no resiste.
- La coordenada de la sección en la que actúa dicho momento flector.

Comprobación de cortante

La comprobación de cortante se realiza de acuerdo a lo que se ha explicado en el apartado **Cálculo de la zapata como estructura de hormigón en masa**, y los datos que se muestran en el listado de comprobaciones son los que se indican a continuación.

En el caso en que cumplan la comprobación de cortante todas las secciones para una dirección, en el listado se indica:

- La tensión tangencial de cálculo que produce una mayor relación entre la tensión tangencial solicitante y la resistente.

- La tensión tangencial resistente de la misma sección de la que se muestra la tensión tangencial de cálculo máxima.

En el caso en que haya alguna sección (para una dirección) en la que no se verifique la comprobación de cortante, los datos que se muestran en el listado de comprobaciones son los siguientes:

- La tensión tangencial de cálculo de la primera sección encontrada para la que no se cumple la comprobación de cortante.
- La coordenada de dicha sección encontrada que no cumple.

Comprobación de compresión oblicua

Esta comprobación es análoga a la que se realiza en las zapatas de hormigón armado y se encuentra explicada en el apartado correspondiente de la memoria de cálculo.

Comprobación de separación mínima de armaduras

Es la única comprobación que se le realiza a las armaduras que el usuario le pueda aplicar a la zapata, ya que éstas no se tienen en cuenta en el cálculo.

En esta comprobación se verifica que la separación entre los ejes de las armaduras sea igual o superior a 10 cm, que es el valor que se ha adoptado para todas las normas como criterio de **CYPE Ingenieros**.

Esta comprobación se realiza únicamente en el caso en que el usuario decida colocar una parrilla, y lo que se pretende evitar es que las barras se coloquen demasiado juntas, de forma que dificulten el hormigonado de la zapata.