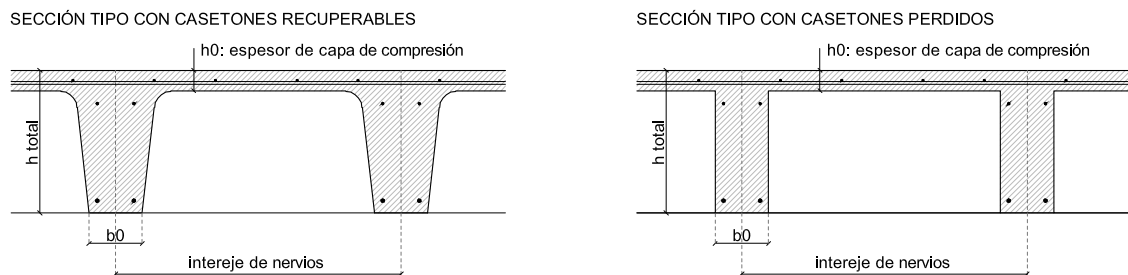


PROYECTO DE FORJADOS RETICULARES

Este Documento contiene algunas indicaciones para el proyecto de los forjados reticulares de la estructura de un edificio cuyo dimensionado requiere definir el tipo de forjado (con casetones perdidos o recuperables), las dimensiones de la sección de hormigón (canto, ancho y separación de nervios, capa de compresión) y su armado longitudinal y transversal.

1. CONSIDERACIONES INICIALES

Los forjados reticulares son losas planas sin vigas, compuestas por nervios en dos direcciones, que pueden construirse con moldes recuperables o con aligeramientos permanentes.



- **Canto del forjado:** En el caso de forjados aligerados sometidos a cargas habituales (carga muerta: 1-2 KN/m²; sobrecarga de uso: 2-3 KN/m²) se recomienda un canto $h \geq L/25$ con espesores de capa de compresión $h_0 \geq 50$ mm.
- **Nervios:** inicialmente, se adoptará un ancho mínimo $b_w \geq 120$ mm que será revisado a la vista de los requerimientos de Resistencia al fuego y del E.L.U esfuerzo cortante. La separación entre nervios estará comprendida entre 700 y 1000 mm.
- **Macizados:** en la zona que rodea a los soportes puede optarse por zonas macizadas del 15-18% de la luz, aproximadamente (lo que requerirá el armado de los nervios a cortante a la salida del macizado) o macizados de mayor extensión (25% de la luz, aproximadamente) lo que puede que evite tener que armar los nervios con cercos a la salida del macizado, pero aumenta el consumo de hormigón y el peso del forjado.

Se dispondrán macizados (vigas) en los bordes del forjado, en su perímetro exterior y en los huecos, de ancho no menor que el canto ni 250 mm.

- **Recubrimiento de las armaduras** (*Documento BC2*): el recubrimiento mínimo de las armaduras se indica en EHE-08, art. 37 dependiendo de la clase de exposición definidas en EHE-08, art. 8. Puede tenerse en cuenta la contribución de los revestimientos, facilitándose en EHE-08, Anejo 9 criterios para el uso de morteros de revestimiento.
- **Protección contra el fuego** (*Documento BC2*): se respetarán los valores mínimos de las dimensiones del forjado (canto, ancho del nervio, espesor de la capa de compresión) y de los recubrimientos mecánicos de sus armaduras según EHE Anejo 6 y CTE DB Seguridad Incendios (*Anejo C*), teniendo en cuenta la Resistencia al fuego requerida en el proyecto. Deberá tomarse en consideración si los aligeramientos son permanentes o el forjado se construye con moldes recuperables, con el fin de evaluar la exposición del nervio a la acción del fuego desde el nivel inferior.

2. EVALUACIÓN DE ACCIONES

Se tendrán en cuenta:

- Los valores de las acciones establecidos en CTE DB SE Acciones en la Edificación (*Documento AE1*)
- Los coeficientes de seguridad de las acciones (EHE-08 art.12; *Documento BC2*)
- Las combinaciones de acciones (EHE art.13; *Documento BC2*).

3. ANÁLISIS ESTRUCTURAL (EHE Art. 22 y Documento BC3)

El análisis de estructuras formadas por soportes y forjados sin vigas (losas planas o forjados reticulares) puede llevarse a efecto mediante:

- Modelos de barras en tres dimensiones
- Emparrillados planos para modelizar el forjado, simulando las coacciones de apoyos producidas por los soportes
- Pórticos virtuales planos en las dos direcciones

En los dos primeros casos, la modelización completa del forjado permite la obtención de las solicitaciones en cada nervio para su posterior dimensionado.

En el caso del análisis por pórticos virtuales planos, aplicable cuando se cumplen ciertas condiciones geométricas de luces y alineaciones de soportes, se obtienen las solicitaciones de los forjados (vigas virtuales del pórtico) en cada dirección y, a continuación, se realiza una distribución de dichas solicitaciones entre los nervios.

4. DIMENSIONADO

a) ELU de agotamiento resistente

A partir de los momentos flectores obtenidos se procederá al armado de los nervios del forjado, en ambas direcciones de forjado, considerando:

- las secciones en T para los momentos positivos M_d^+ en el vano y para los momentos negativos M_d^- en las zonas aligeradas del forjado
- las secciones rectangulares para los momentos negativos M_d^- en los macizados.

En el caso del análisis mediante pórticos virtuales, la armadura se dispondrá de acuerdo con EHE-08, comentarios Art. 55.2 y se distribuirá uniformemente en todo el ancho de cada banda, para la cara inferior del forjado y para la cara superior en bandas centrales. La armadura superior en banda de soportes:

- Para momentos M_d pequeños transmitidos al soporte, la armadura se distribuirá uniformemente
- Para momentos M_d importantes (por ejemplo, soporte extremo), se supondrá que se transmite al soporte mediante flexión una fracción del mismo igual a kM_d y la fracción restante $(1-k)M_d$ se transmite por tensiones tangenciales.

Los valores de k vienen definidos en la tabla EHE 55.2, en función a la relación entre la dimensión del soporte paralela a la dirección del pórtico analizado, c_1 , y el valor c'_2 (corresponde a la dimensión del soporte c_2 perpendicular al pórtico analizado, en soportes interiores o de esquina, y dos veces esa dimensión en soportes de fachada).

En soportes circulares, c_1 y c_2 serán las dimensiones del soporte cuadrado de igual área.

c_1/c'_2	0.5	1.0	2.0	3.0
k	0.55	0.40	0.3	0.2

La armadura necesaria para resistir la fracción de momento kM_d transmitida por flexión, habrá que concentrarla en un ancho igual al ancho del soporte más 1.5 veces el canto del forjado a cada lado y el resto de distribuirá uniformemente. La fracción $(1-k)M_d$ será resisitida por torsión, en el zuncho o viga de borde o atado torsional.

Se comprobará la capacidad de transmisión de tensiones tangenciales en la unión del forjado y los soportes (ELU punzonamiento). Si la tensión solicitación supera la tensión resistida, $\tau_{sd} > \tau_{rd}$, en el perímetro de punzonamiento es necesario disponer armadura transversal en el forjado a base de cercos, horquillas verticales o barras dobladas. En ese caso, son necesarias tres comprobaciones en:

- Zona adyacente al soporte.
- Zona con armadura transversal de punzonamiento para dimensionar la armadura a punzonamiento dentro del perímetro crítico
- Zona exterior a la armadura de punzonamiento para comprobar si es necesaria armadura transversal fuera de la zona armada

Es necesario realizar la comprobación a esfuerzo cortante en los nervios, principalmente a la salida de los macizados (ver EHE Art. 44 y Documento ELU2). Habrá que comprobar que el esfuerzo cortante que solicita al nervio es inferior al que puede resistir: $V_d \leq V_{u2}$ siendo:

- V_d el esfuerzo cortante que solicita al nervio
(*Nota: en el análisis mediante pórticos virtuales, se sugiere adoptar los coeficientes 0.6 y 0.4 para distribuir el cortante del forjado entre las bandas de soportes y central, respectivamente*)
- V_{u2} el esfuerzo cortante de agotamiento por tracción del alma (ver EHE art. 44 y Documento ELU2)

Si no se cumpliera la comprobación, se podría:

- Armar los nervios a esfuerzo cortante
- Aumentar la longitud de los macizados
- Modificar el forjado elegido (nervios de ancho mayor, canto mayor, ...)

b) ELS deformación

Se recomienda no sobrepasar las esbelteces límites indicadas en EHE-08, tabla 50.2.2.1, pudiendo ajustar estos valores al caso del proyecto en cuestión mediante las expresiones contenidas en los comentarios a este apartado de EHE-08.

c) ELS fisuración

En general y salvo en condiciones de agresividad ambiental extremas, este ELS se cumple en los forjados reticulares mediante un adecuado tamaño y distribución de las armaduras definidas en los cálculos en ELU de flexión y cortante. Para otras situaciones, consultar EHE-08, art.49.

5. DISPOSICIONES CONSTRUCTIVAS

5.1 Cuantías mínimas

EHE-08 no establece de forma explícita las cuantías mínimas para los forjados reticulares.

Se sugiere tomar en consideración las cuantía mínimas establecidas para losas en los macizados del forjado reticular y las establecidas para los nervios de los forjados unidireccionales en las zonas aligeradas del forjado reticular (EHE-08, tabla 42.3.5):

Macizados: $A_{total} \geq 0.0020 b h$ para acero B400
 $A_{total} \geq 0.0018 b h$, para acero B500

Nervios: $A_1 \geq 0.004 b_w h$ para acero B400
 $A_1 \geq 0.003 b_w h$, para acero B500

5.2 Trazado de armaduras

En la página 4, se indican las longitudes mínimas del armado longitudinal de los nervios de un forjado reticular analizado por pórticos virtuales (EHE-08, art.55)

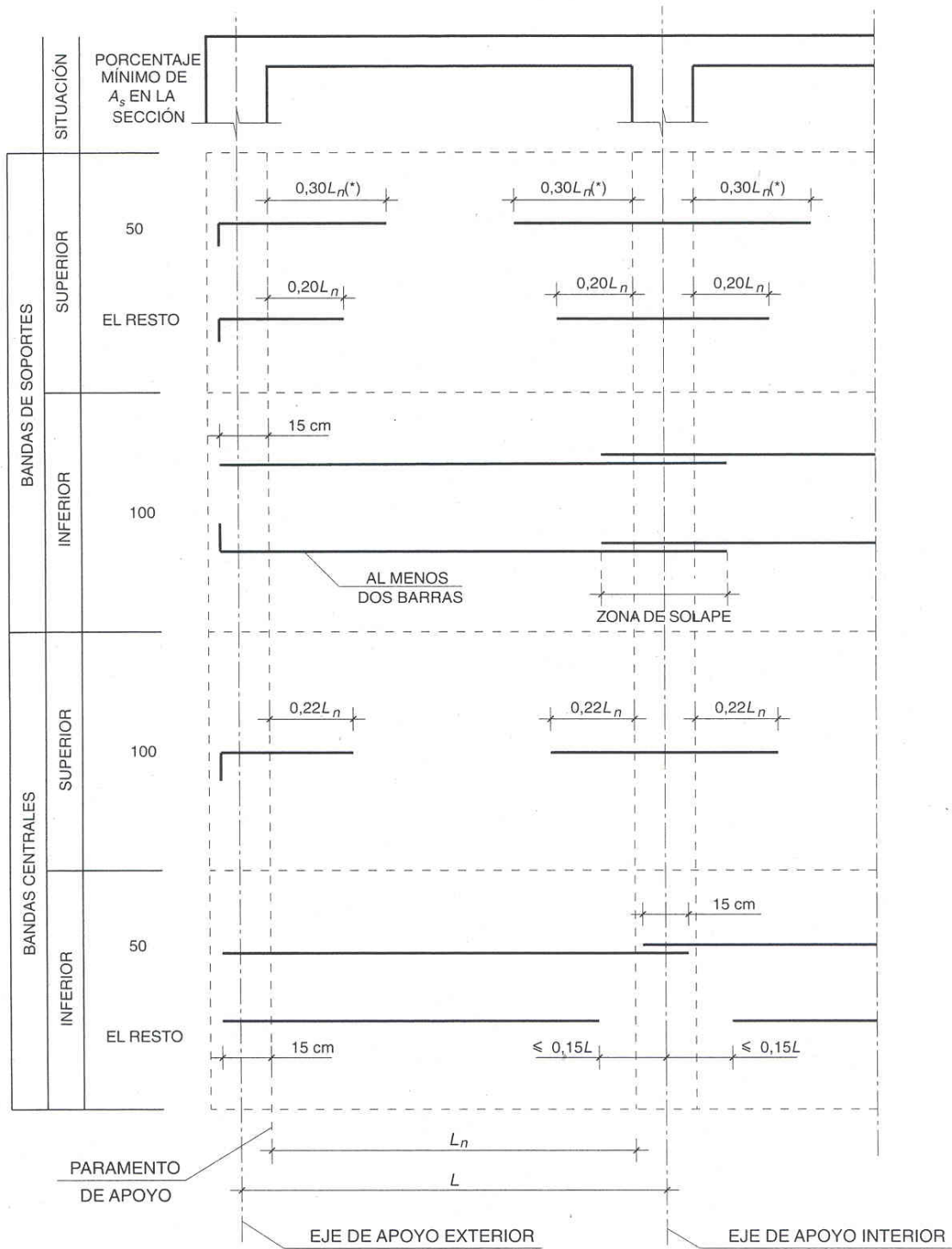
En la página 5, se representa un armado genérico de un forjado reticular que contempla las recomendaciones de la página 4 para la armadura longitudinal de los nervios y que incluye un posible armado a punzonamiento en la unión soporte/forjado y a cortante en la salida de los nervios del macizado

Se recomienda dimensionar la cara superior de los nervios en los macizados con cuatro redondos, que se distribuirán en planta dos sobre la prolongación del alma del nervio aligerado y dos entre los nervios. Además, debe disponerse un armado suplementario (ej. $2\phi 8$ por nervio) al armado de los nervios en la cara inferior de la zona macizada, para evitar la fisuración.

Las vigas de borde deberán ser armadas de acuerdo con las solicitaciones (flexión, torsión, cortante) pero con armado no inferior a $4\phi 12$ y cercos $\phi 6/0.5d$.

La capa de compresión del forjado deberá armarse con un mallazo de igual cuantía en ambas direcciones (ej.: para $h_0 = 50$ mm puede disponerse una malla # $\phi 6/150$ mm).

Longitudes mínimas del armado longitudinal de los nervios de un forjado reticular analizado por pórticos virtuales (EHE-08, art.55)



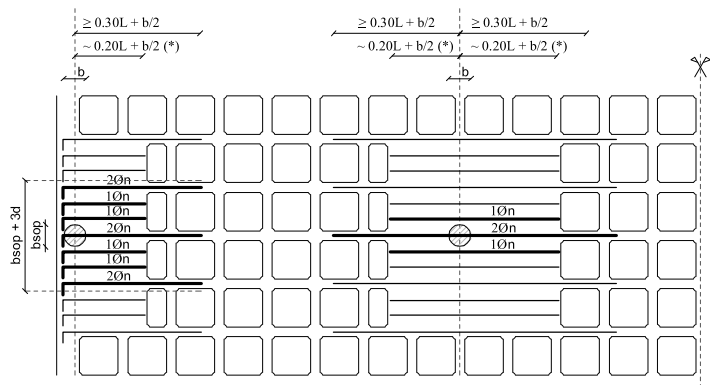
(*) En el caso de que se dispongan ábacos $0,33L_n$

PROYECTO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN

Ejemplo genérico de armado de un forjado reticular

(Se representa el armado de los nervios en una de las direcciones, el armado a cortante y el armado a punzonamiento)

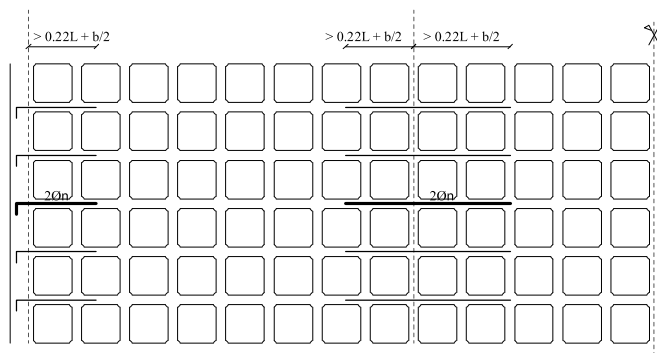
NERVIO TIPO EN BANDA DE SOPORTES



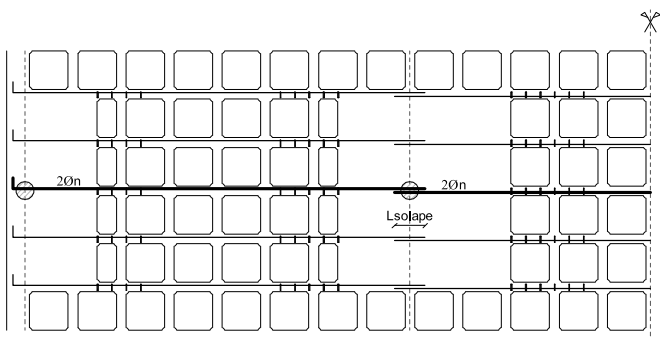
ARMADURA EN CARA SUPERIOR

(*) Si el borde del macizado está a una distancia $< 0.20L$ de cara del soporte, estas armaduras se llevarán hasta dicho borde, pero disponiendo una cantidad $\gg 50\%$ del armado hasta la distancia $0.30L$ de cara del soporte.

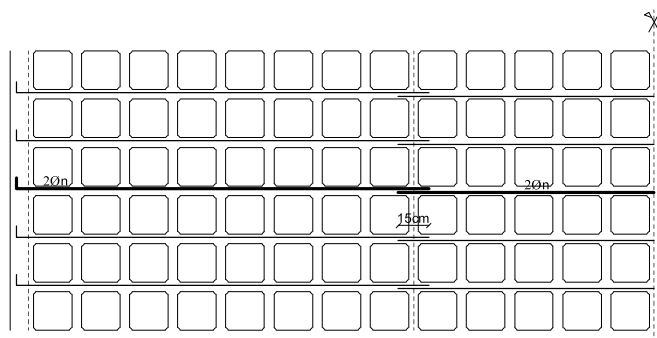
NERVIO TIPO EN BANDA CENTRAL



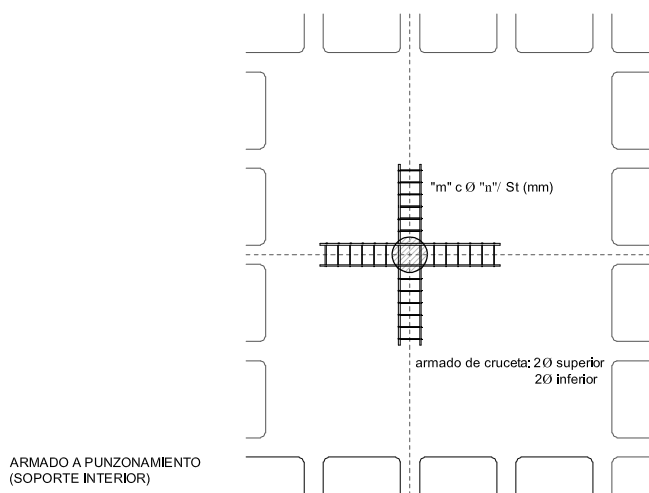
ARMADURA EN CARA SUPERIOR



ARMADURA EN CARA INFERIOR Y ARMADO A CORTANTE



ARMADURA EN CARA INFERIOR



ARMADO A PUNZONAMIENTO (SOPORTE INTERIOR)

SECCIÓN TIPO A LA SALIDA DEL MACIZADO

