

FORJADOS RETICULARES O BIDIRECCIONALES CON NERVIOS DE HORMIGÓN ARMADO

Ofrecemos a nuestros lectores una nueva entrega de las fichas prácticas elaboradas por la Fundación MUSAAT con el objetivo de contribuir a la mejora de la calidad de la edificación. En esta ocasión, se centra en los forjados reticulares o bidireccionales con nervios de hormigón armado.

UNIDAD CONSTRUCTIVA

FORJADOS RETICULARES O BIDIRECCIONALES CON NERVIOS DE HORMIGÓN ARMADO

Descripción

Elemento estructural, generalmente plano, armado en dos direcciones y macizada la zona colindante a los soportes, transmitiéndole las cargas a estos.

Daño

Fisuraciones en el propio elemento, en particiones y en revestimientos.

Zonas afectadas dañadas

Estructura, compartimentaciones y acabados.

Los forjados reticulares están constituidos por placas o losas aligeradas con nervios en dos direcciones perpendiculares entre sí, de hormigón armado, que no poseen, en general, vigas para transmitir las cargas a los apoyos, sino que es la placa maciza (ábaco) la que lo transmite directamente a los soportes.

Se relacionan a continuación los elementos constitutivos del forjado reticular:

- **Nervios:** de hormigón armado, que trabajan a flexión como vigas planas continuas, con momentos negativos en las cabezas de las barras y de signo positivo en el centro del vano.
- **Recuadro:** es el conjunto de nervios dispuesto en el centro de cuatro soportes o pilares contiguos.
- **Casetones:** elementos del entrevigado para el aligeramiento del forjado.
- **Ábacos y/o capiteles:** zona maciza de la placa alrededor de los pilares, encargados de absorber los esfuerzos y tensiones generadas sobre y alrededor de los soportes.
- **Zunchos:** vigas embebidas en el grosor del forjado, en los bordes de su perímetro y alrededor de los huecos, para el atado de la estructura.

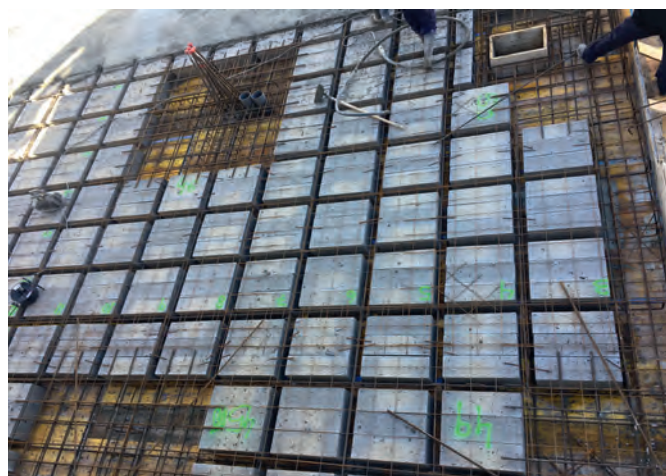


Figura 1: vista general de un forjado reticular.

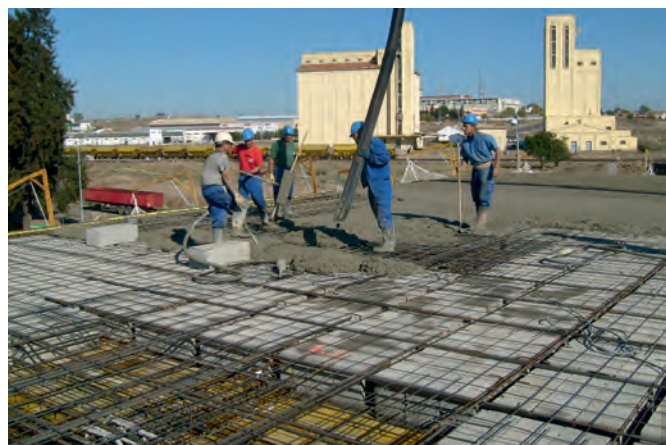


Figura 2: hormigonado de forjado reticular.

A medida que los nervios de la banda de soportes se acercan al pilar, necesitan de toda la superficie del hormigón para colaborar en el esfuerzo cortante, de ahí la necesidad del macizado de sus interejos (Fig. 3). Dicho macizado, con el armado correspondiente, se encarga igualmente de evitar el riesgo de punzonamiento; en los casos de grandes luces, el ábaco puede tener mayor espesor, siendo visible por su parte inferior (capitel).

En función del tipo de piezas o elementos de entrevigado utilizado en el montaje del forjado (casetones), pueden ser de dos tipos:

- **Moldes recuperables:** denominados *bañeras*, suelen ser de poliéster.
- **Moldes permanentes:** con piezas aligeradas de hormigón, poliestireno expandido (porexpan), o cualquier otro material que sea siempre compatible con las armaduras y el hormigón empleado.

El canto total de la placa de espesor constante, salvo justificación especial, no será inferior a $L/28$, siendo L la mayor dimensión del recuadro.

La separación entre ejes de nervios no superará los 100 cm, el espesor de la capa superior no será inferior a 5 cm y deberá disponer en la misma una armadura de reparto en malla.

En las vigas de bordes de los forjados reticulares (zunchos) se dispondrán cercos con una separación entre ellos no mayor de $0,5 d$, capaces de absorber las tensiones y esfuerzos cortantes que se produzcan.

Las armaduras inferiores de las bandas de soportes, en cada dirección, deberán ser continuas o estar solapadas. Como mínimo, dos de estas barras pasarán por el interior del pilar interior y estarán ancladas en los pilares exteriores.

En cuanto a su función separadora, los forjados dividen el edificio en plantas, separando y aislando unas de otras, debiendo proporcionar un aislamiento acústico (a ruido aéreo e impacto) suficiente entre plantas consecutivas, impedir la propagación del fuego y contribuir al aislamiento térmico.

Problemáticas habituales

A continuación, se describen brevemente las causas que pueden producir fallos en este tipo de elemento estructural:

• Causas intrínsecas de lesiones en forjados reticulares o bidireccionales

Defectos de diseño y cálculo

La gran mayoría de los errores en la fase de proyecto pueden agruparse en algunos de los tipos que se relacionan a continuación:

- De concepto del funcionamiento de la estructura.
- En la consideración de las acciones.
- En las hipótesis de carga estimadas de partida.
- En el cálculo de los esfuerzos y deformaciones.
- En la dimensión de las secciones o en la disposición de las armaduras.
- En la elaboración de plano y/o detalles constructivos. Muchos de los errores que se le atribuyen al proyecto tienen su origen en la ausencia de detalles constructivos que definan la correcta solución de la puesta en obra del elemento estudiado.
- Falta de previsión en el plan de cimbrados y descimbrados. El forjado en proceso de ejecución, debido a la transmisión de cargas de forjados superiores, puede llegar a rebasar la carga prevista, lo que puede ocasionar una deformación permanente a la hora de la puesta en carga que pueda generar fisuraciones e incluso llegar al agotamiento del elemento estructural.

Defectos de puesta en obra

Se relacionan, a continuación, algunos de los principales defectos de la puesta en obra:

- Deficiente y/o inadecuado sistema de encofrados, apeos, puntales, durmientes, tableros, etc.
- Defectos en la calidad de los materiales, en especial hormigones: por consistencias inadecuadas, resistencia inferior a la requerida en proyecto, etc.
- Falta de recubrimientos de las armaduras por la ausencia o defectuosa colocación de separadores o calzos, que puede tener como consecuencia su corrosión y la pérdida de capacidad resistente.

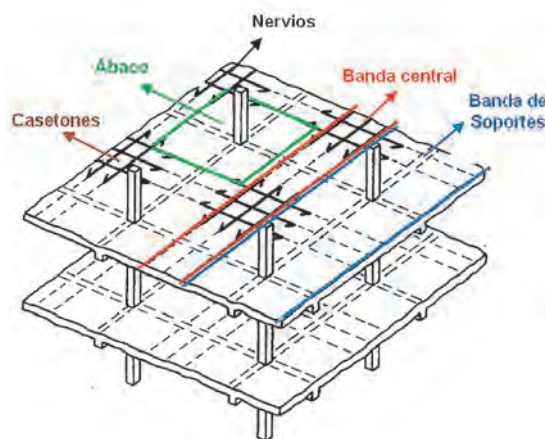


Figura 3: esquema con indicación de los elementos y bandas de un forjado reticular.



Figura 4: aligeramiento del forjado reticular con moldes recuperables.



Figura 5: aligeramiento del forjado reticular con moldes permanentes de hormigón.

- Errores en el armado, fallos en empalmes o anclajes, excesiva concentración de armaduras que obstaculice el paso del hormigón, quedando los elementos sin hormigonar adecuadamente, reduciendo la capacidad a compresión del forjado.
- Deficiente o excesivo vibrado. Es necesario el correcto vibrado de los nervios, zunchos y ábacos para conseguir el adecuado macizado y compactado del hormigón vertido.
- Falta de planeidad en la capa de compresión.
- Inadecuados cortes durante el proceso de hormigonado ocasionando discontinuidades, coqueas, etc.
- Desencofrados prematuros, no cumpliendo con los plazos de desapuntalado previstos.
- Curado defectuoso del hormigón o en condiciones climatológicas desfavorables.
- Deficiente estanqueidad de los encofrados.

• Causas extrínsecas de fallos de forjados reticulares o bidireccionales

Estas causas pueden tener su origen en los cambios en el propio edificio o en el entorno y, en cualquier caso, modifican sustancialmente las condiciones para las que se diseñaron los forjados, como por ejemplo:

- Modificaciones de las hipótesis del proyecto que pueden afectar a los forjados.
- Variaciones en las condiciones del entorno.

• Uso y mantenimiento

- Ausencia de mantenimiento.
- Acciones indebidas sobre los materiales y elementos constructivos.
- Cambios de uso.

Lesiones y deficiencias

A continuación, se describen brevemente algunas de las lesiones más relevantes que pueden presentarse en los forjados reticulares; si bien algunas de ellas no presentan problema de seguridad estructural, sí pueden afectar en el aspecto funcional o estético. (Ver Documento de Orientación Técnica Eh-5 *Forjados unidireccionales con viguetas/nervios de hormigón y entrevigado. Parte I*, publicado en el número 136 de CERCHA).

• Fisuras por deformaciones excesivas

En los casos en que el forjado reticular se vea sometido a un exceso de flexión, puede llegar a presentar un estado de fisuración del propio elemento:

- En la cara superior, pueden aparecer formando una retícula en el ábaco y/o longitudinales en los nervios de la banda de soporte.
- En la cara inferior, las fisuras se ubican en el centro de los vanos de la banda central.

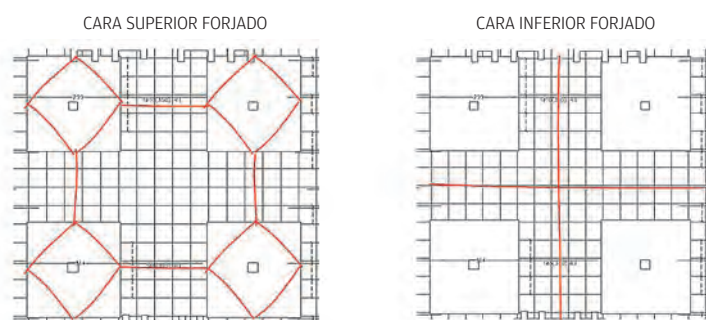


Figura 6: fisuraciones en forjado reticular por exceso de flexión.

Entre las causas que pueden provocar esta patología se encuentran: cálculo erróneo, incorrecto montaje del armado, cantos de forjados menores a lo previsto, baja resistencia del hormigón, deficiente vibrado con aumento de la porosidad del hormigón, pérdida de lechada, carbonatación, exceso de cargas, etc.

• Fisuración por esfuerzo cortante

El esfuerzo cortante de un forjado reticular es soportado por el hormigón y la armadura transversal colocada en el encuentro de los nervios y el ábaco. Cuando esta armadura no existe, el esfuerzo queda a cargo del hormigón y, si se supera la resistencia de este, se suele producir la rotura brusca sin capacidad de aviso (lesión muy grave).

Las causas que pueden llegar a producir el agotamiento y/o colapso de un forjado por cortante son:

- Sección del forjado insuficiente.
- Luces mayores que las consideradas en cálculos.
- Omisión de armadura transversal.
- Exceso de carga.
- Utilización de hormigón de menor resistencia.
- Apertura de huecos en ábacos.

• Fractura por punzonamiento

Otro de los peligros más graves que se pueden presentar en los forjados reticulares es el de punzonamiento de los ábacos. Puede producirse por el agotamiento de la sección causado por tensiones tangenciales que se producen alrededor de la zona cargada, fallando la placa por punzonamiento.

Se caracteriza por la formación de una superficie de fractura de forma tronco-piramidal (o troncocónica, en el caso de áreas circulares), que arranca del pilar con una inclinación entre los 30° y 45°, siendo una superficie crítica, concéntrica al pilar, en una zona alrededor de este de la mitad del canto del ábaco.

Siempre que el hormigón no cumpla la condición de seguridad al punzonamiento según la EHE-08, será necesaria la colocación de armadura de punzonamiento constituida por cercos o barras dobladas.

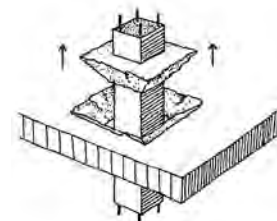


Figura 7: punzonamiento de la placa.

• Fisuración por corrosión de las armaduras

Se manifiesta con manchas de óxido a lo largo de las barras del armado del forjado y, a medida que aumenta de volumen la armadura corroída, se va fisurando el hormigón en contacto con las barras.

Esta patología puede evitarse con la utilización de hormigones compactos, correcta ejecución de los recubrimientos de las armaduras, un adecuado contenido de cemento y relación agua-cemento. El ambiente agresivo es una de las principales causas, especialmente en zonas marítimas, garajes en plaza públicas por problemas en la impermeabilización, en zonas sin ventilación como depósitos, bodegas, etc.



Figura 8: fisuras por corrosión de las armaduras.

• Fisuras por retracción hidráulica y/o por asiento plástico del hormigón

Las fisuras por retracción hidráulica se producen en el proceso de secado del hormigón. Los factores que inciden son, entre otros: la pérdida de agua por evaporación, curados inadecuados, viento y soleamiento, excesiva relación agua/cemento, etc.

Las fisuras por asiento plástico se producen al descender por gravedad el hormigón y verse impedido en este movimiento por las armaduras, siendo la principal causa la excesiva relación agua/cemento, por lo que se ha de cuidar la consistencia y los cuidados en el vertido y curado del hormigón.

Si bien estos tipos de fisuras no crean una merma significativa de la capacidad resistente, sí puede disminuir la durabilidad al permitir el acceso de agentes externos.

Recomendaciones técnico-constructivas

A continuación, se relaciona la metodología para la ejecución de los forjados bidireccionales:

- Montaje de la cimbra, tableros y moldes recuperables o encofrado con entablado continuo horizontal y colocación de los moldes permanentes.
- Colocación de las armaduras y disposición de los separadores.
- Colocación de cajetines y pasatubos, en su caso, para el paso de las instalaciones.
- Vertido y compactación del hormigón previo riego de encofrados y bloques.
- Curado del hormigón.
- Desapuntalado y desencofrado.

• Montaje de cimbras, tableros y encofrados con moldes recuperables o permanentes

Este tema, dada su importancia y su extensión, requiere de un tratamiento individualizado, si bien vamos a comentar, muy brevemente, algunos aspectos como los relacionados a continuación:

- En aquellos casos que se realice el apoyo de los apeos o encofrados directamente sobre el terreno, al no existir soleras ni losas, se deberán colocar los puntales sobre durmientes, asegurando en todo momento que no se produzca asiento de los mismos.
- El suministrador indicará las condiciones de uso de los apeos y/o puntales, así como garantizará las características de los mismos para soportar la propia carga del forjado y las sobrecargas durante el proceso de construcción.
- Previo al inicio del montaje del forjado (armado, moldes y hormigonado), se revisará, por parte del jefe de obra o encargado, la estabilidad de los puntales y nivelado de las sopandas, así como el buen estado de los tableros, careciendo estos de fisuras, alabeos, etc., al objeto de evitar posibles riesgos de desprendimientos o rotura al paso del personal de obra.
- Cuando la altura del forjado se sitúe a alturas mayores a los 3,50 m, se han de emplear sistemas de apeos con módulos metálicos modulares de andamios comercializados. No se ha de emplear la colocación de doble altura de puntales apoyados en tablonos de madera, dada su inestabilidad.

• **Montaje de las armaduras y recubrimientos**

Las armaduras se montarán en obras exentas de pintura, grasa o cualquier otra sustancia nociva que pueda afectar negativamente al acero, al hormigón o a la adherencia entre ambos. Se ha de cuidar la ejecución de los nudos de unión entre ábaco/zunchos con el soporte, comprobándose la colocación correcta de las armaduras y de sus anclajes, y cumpliendo la separación entre barras, según se indica en la EHE-08, para que pueda permitir un adecuado vertido y vibrado del hormigón.

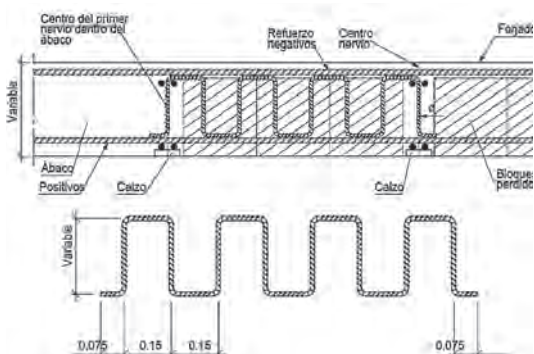
Se deberá cuidar la disposición de las armaduras en los nervios, con un correcto atado para evitar el descenso de las barras principalmente en sus extremos, centrarlos en el ancho del nervio y que no impidan la entrada del hormigón para un correcto macizado y vibrado.



Figura 9: armado de vigas y/o zunchos.



Figura 10: armado de nervios.



Figuras 11 y 12: armado a esfuerzos cortantes en encuentro nervio-ábaco.

Los recubrimientos nominales de las armaduras de los forjados deberán cumplir las especificaciones indicadas en el artículo 37.2.4.1.a, b y c, de la EHE-08, según la clase de exposición, tipo de cemento, f_{ck} y la vida útil de proyecto. Deberán garantizarse mediante la disposición de los correspondientes elementos (separadores o calzos) colocados en obra (artículo 69.8.2, de la EHE-08).

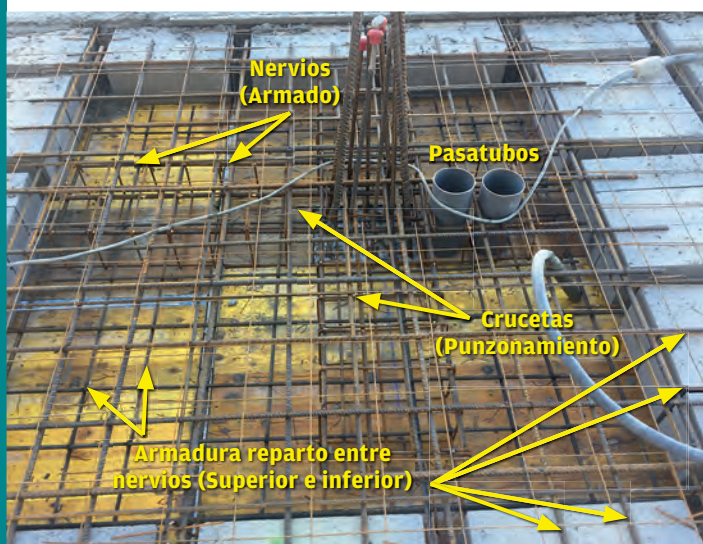


Figura 13: armado de ábaco.



Figura 14: recubrimientos. Colocación de separadores.

El espesor del recubrimiento constituye un parámetro de gran importancia para lograr una protección adecuada de la armadura durante la vida de servicio de la estructura. El periodo durante el que el hormigón del recubrimiento protege a las armaduras es función del cuadrado del espesor del recubrimiento. Esto conlleva que una disminución del recubrimiento a la mitad de su valor nominal se traduzca en un periodo de protección de la armadura reducido a la cuarta parte.

Colocación de cajetines y pasatubos

Previo al hormigonado, quedarán replanteados los huecos de comunicación vertical (ascensores, escaleras), los de ventilación y los de las instalaciones (saneamiento, fontanería eléctrica, comunicaciones...), debiendo comprobarse la coincidencia del aplomado en plantas sucesivas.

En el perímetro de los huecos se dispondrá de zunchos de atado.

Se ha de evitar el realizar la apertura de los huecos con posterioridad al hormigonado y, en caso necesario, se deberán replantear previamente estos, haciéndolos coincidir con la zona entre nervios, afectando de esta manera solamente a la capa de compresión, ya que, en la mayoría de los casos, al realizarse la apertura con equipos de extracción del hormigón suelen cortar las barras de acero del armado de nervios y zunchos, con la consiguiente repercusión en su comportamiento estructural.

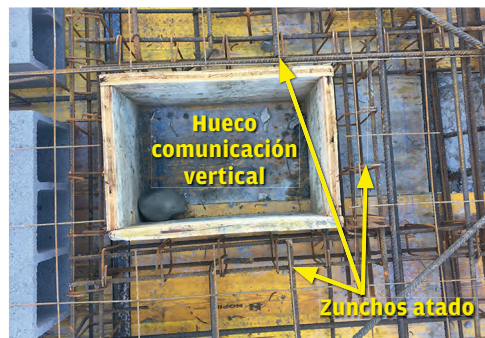


Figura 15: colocación de cajetín para hueco de comunicación vertical.



Figura 16: fase de hormigonado: vertido de hormigón con cubilote.



Figura 17: fase de hormigonado: vibrado y extendido del hormigón.

• Vertido, compactación y curado del hormigón

Con el fin de no extender en exceso este documento, para cualquier consulta sobre el vertido, compactación y curado del hormigón, ver el documento *Forjados unidireccionales con viguetas/nervios de hormigón y entrevigado. Parte II* Eh-6, publicado en el número 139 de CERCHA.

Hormigonado en tiempo frío (artículo 71.5.3.1 EHE-08).

Hormigonado en tiempo caluroso (artículo 71.5.3.2 EHE-08).

Compactación y curado.

• Desapuntado o descimbrado (artículo 74 EHE-08)

En los forjados unidireccionales, el orden de retirada del desapuntado y descimbrado será desde el centro del vano hacia los extremos. No se desapuntará de forma súbita y se adoptarán precauciones para impedir el impacto de las sopandas y puntales sobre el forjado.

En la tabla 74 de la EHE-08, se indican los periodos de desencofrado y descimbrado de los elementos de hormigón armado, dependiendo de la temperatura superficial del hormigón (°C).

• Mantenimiento y conservación

En el proyecto de todo tipo de estructuras, será obligatorio incluir un Plan de Inspección y Mantenimiento que defina las actuaciones a desarrollar durante toda la vida útil (artículo 103.3 EHE-08).

Al menos, por parte de la propiedad se solicitará a un técnico una revisión inmediata, siempre que aparezcan lesiones en el edificio (fisuras, grietas, desplomes, etc.), y cada cinco años, una inspección general.

REFERENCIAS

FUNDACIÓN MUSAAT

AUTOR

● Alberto Moreno Cansado

Calle del Jazmín, 66 - 28033 Madrid
www.fundacionmusaat.musaat.es

COLABORADOR

● Manuel Jesús Carretero Ayuso

IMÁGENES

● Moreno Cansado, Alberto. (Figs. 1, 2, 4, 5, 8 a 17)
● Internet (Figs. 3, 6 y 7)

BIBLIOGRAFÍA Y NORMATIVA

● *Patología de estructuras de hormigón armado*. Juan Pérez Valcárcel. ● CTE/DB-SE-C ● EHE-08 ● Normas UNE

CONTROL: ISSN: 2340-7573 Data: 18/1 Ord.: 12 Vol.: E Nº: Eh-8 Ver.: 1

NOTA: los conceptos, datos y recomendaciones incluidas en este documento son de carácter orientativo y están pensados para ser ilustrativos desde el punto de vista divulgativo, fundamentados desde una perspectiva teórica, así como redactados desde la experiencia propia en procesos patológicos.

© del Autor

© de esta publicación, Fundación MUSAAT

Nota: en este documento se incluyen textos de la normativa vigente.