

Guía para el uso de la instrucción

EFHE

Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón estructural realizados con elementos prefabricados

Ferran Bermejo i Nualart

La información contenida en el texto de esta publicación corresponde a la fecha de su edición.

Guía para el uso de la instrucción

EFHE

Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón estructural realizados con elementos prefabricados

La información contenida en el texto de esta publicación corresponde a la fecha de su edición. Es posible, por tanto, que en la actualidad algunos datos (precios, normativa, leyes, etc.) se hayan modificado, lo cual debe tenerse en cuenta al hacer uso de ella.

Traducción: Eduard Sanahuja

Diseño: Estudi Garriga

Reservados todos los derechos. Para la reproducción total o parcial de esta obra, en cualquier modalidad, será necesaria la autorización previa del titular del ©.

© Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña. ITeC

Primera edición: marzo de 2003

ISBN: 84-7853-444-X

Impreso en: Gráficas Contraste SL

DL: B-17675-03



Institut de
Tecnologia de la Construcció
de Catalunya

Guía para el uso de la instrucción EFHE

Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón estructural realizados con elementos prefabricados

Ferran Bermejo i Nualart

Con el asesoramiento de

Rafael Bellmunt i Ribas

Índice

Introducción	7
1. Alcance de la Instrucción y campo de aplicación	9
2. Los componentes del forjado	11
2.1 Las viguetas	12
2.2 Las losas alveolares	12
2.3 Piezas de entrevigado	12
2.4 El acero	13
2.5 El hormigón	15
3. Proyectando forjados	17
3.1 Diseño de forjados con viguetas	17
3.2 Diseño de forjados con losas alveolares	22
3.3 Detalles constructivos	24
3.4 Documentación de proyecto y ejecución	26
4. Construyendo forjados	29
4.1 Ejecución	29
4.2 Control	32
4.3 Documentación final de obra	36
5. Calculando forjados	37
5.1 Bases de cálculo	38
5.2 Los estados límite últimos	39
5.3 Los estados límite de servicio	41
5.4 Comprobaciones previas al hormigonado en obra	43
5.5 Anexos de cálculo	43
Anexos	45
Anexo 1. Equivalencia de los artículos entre las instrucciones EFHE y EF-96	45
Anexo 2. Unidades de medida y tablas de conversión	47
Anexo 3. Cantos mínimos de forjados para obviar la comprobación de deformaciones	48
Anexo 4. Tablas de aplicación de la EHE	49

Introducción

La finalidad de esta publicación es sintetizar los aspectos fundamentales de la nueva Instrucción a fin de permitir una aplicación rápida de sus preceptos a los proyectos y a las obras. Ha sido concebida, principalmente, para un público profesional generalista: a menudo la lectura de los textos normativos no es tan clara como desearíamos y son necesarias varias relecturas para conseguir aplicarlos correctamente, especialmente cuando no se es un experto en el tema.

Pese a que se trata de una instrucción básicamente de tipo estructural, hemos intentado exponer los conceptos básicos que han de interesar a los diferentes agentes implicados. Este hecho se pone de manifiesto tanto en la forma de estructurar el texto como en la elaboración de resúmenes y tablas que facilitan su aplicación. Para conseguirlo, se han simplificado aspectos que a los ojos de los más iniciados en la cuestión podrían llegar a parecer superficiales.

Como es obvio, para los especialistas en cálculo de forjados o para los fabricantes de las piezas prefabricadas objeto de la Instrucción, esta publicación no puede sustituir la lectura obligada del texto original. Tampoco se pretende que sea un manual de cálculo de forjados. Sin embargo, constituye una introducción al tema, puede ayudar a detectar las diferencias o novedades incorporadas o, simplemente, puede servir de resumen o compilación de datos útiles que forman parte tanto de esta Instrucción como de la EHE. Esta es la razón de que se adjunten en los anexos tablas de referencia que corresponden a esta Instrucción y a la Instrucción general del hormigón; se ha incluido, además, una tabla donde se relacionan los artículos de la nueva Instrucción con los correspondientes a la antigua EF-96, lo que puede facilitar una lectura comparada.

Notación

A lo largo del texto hay números entre paréntesis; corresponden a los artículos de la nueva Instrucción que versan sobre el punto concreto que se está comentando. Cuando nos referimos a artículos de la EHE, se indica de forma expresa.

Referencia legislativa

Real Decreto 642/2002 de 5 de julio, publicado en el BOE de 6 de agosto de 2002.

Corrección de errores del Real Decreto, publicado en el BOE de 30 de noviembre de 2002.

Entrada en vigor

6 de febrero de 2003.

Alcance de la Instrucción y campo de aplicación

Detrás del largo nombre de esta Instrucción encontramos dos tipologías de forjados claramente definidas: la que denominamos “de viguetas” (armadas y pretensadas) y la de losas alveolares pretensadas. Si en el primer caso el montaje en obra supone la manipulación de viguetas y bovedillas, en el segundo se integran en un solo producto la vigueta y la bovedilla. Esta es la razón de que ambos productos compartan un mismo texto normativo.

Ahora bien, en realidad la lectura del título de la Instrucción abre unas expectativas que después no se cumplen. En efecto, un buen número de productos industrializados para forjados unidireccionales queda todavía fuera del alcance de la nueva Instrucción. Es el caso de las losas nervadas y las prelosas. También han quedado fuera los forjados con planchas colaborantes, sin duda el sistema que más desarrollo está teniendo. Es una situación paradójica, dado que en el momento de entrar en vigor esta Instrucción ninguna de las dos instrucciones de forjados de que disponemos trata esta tipología. No parece, por lo tanto, que se haya conseguido uno de los objetivos que menciona el decreto de aprobación de la Instrucción, que pretende “..actualizarla en relación a (sic) las nuevas tecnologías constructivas”. En resumen, para el diseño y cálculo de estos otros forjados unidireccionales diferentes a los definidos, la Instrucción nos remite a la EHE.

En cuanto al contenido, la nueva Instrucción supone una adaptación a las exigencias de la EHE, la instrucción estrella con respecto a las estructuras de hormigón. La promoción del aumento de la calidad que implicó la EHE también se pone de manifiesto en esta Instrucción. Lo mismo podemos decir de los temas relativos a la durabilidad.

La línea iniciada por la EHE en el sentido de promover el uso de aceros reconocidos por sellos oficiales, o el uso de hormigones fabricados en centrales con distintivos de calidad, es seguida también por la EFHE. Así, en el primer

artículo de la Instrucción ya se especifica que los productos a que hace referencia han de ser prefabricados en una instalación industrial exterior a la obra.

El campo de aplicación de los forjados incluidos en la Instrucción queda definido por los siguientes límites (1)*:

Dimensión	Forjado de viguetas	Forjado de losas alveolares
Canto	≤ 50 cm	≤ 50 cm
Luz de cada tramo	≤ 10 m	≤ 20 m
Intereje	≤ 100 cm	----
Anchura del elemento resistente	----	≤ 140 cm sin armadura de repartimiento
	----	≤ 250 cm con armadura de repartimiento

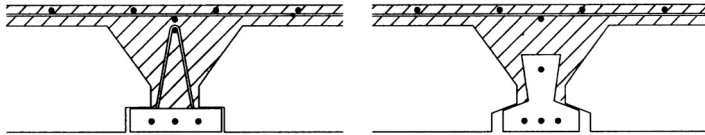
* Notación, usada de aquí en adelante, que especifica el artículo de la Instrucción que trata ese tema.

Los componentes del forjado

2

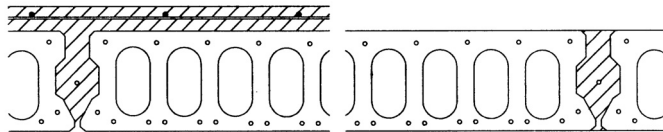
El sistema constructivo de forjados de viguetas se compone de (2.2):

- Viguetas prefabricadas de hormigón u hormigón y cerámica, armadas o pretensadas.
- Piezas de entrevigado, con función aligerante o de colaboración en la resistencia.
- Armaduras de obra, longitudinales, transversales o de reparto, colocadas antes del hormigonado.
- Hormigón vertido en obra para nervios y chapa de compresión.



El sistema constructivo de forjados de losas alveolares pretensadas está compuesto por (2.3):

- Losas alveolares de hormigón pretensado.
- Armadura colocada en obra, en algunos casos.
- Hormigón vertido en obra en juntas entre losas y para la formación de chapa de compresión, en los casos en que ésta sea necesaria.



En este sistema, la chapa de compresión puede obviarse si las acciones laterales no son importantes. Si esta situación se produce, será necesario justificar el cumplimiento de las condiciones exigibles por cálculo a los estados límite últimos y de servicio.

2.1

Las viguetas

Han de ser prefabricadas por un industrial debidamente autorizado y producidas en una instalación fija exterior a la obra. Pueden ser armadas o pretensadas. La vigueta puede ser de hormigón o de una combinación de cerámica y hormigón.

Las denominadas viguetas autorresistentes, una vez colocadas en un forjado, han de poder resistir por sí solas, sin necesidad de apuntalamiento y ni de hormigón vertido en obra, todas las cargas a las que deberán estar sometidas cuando entren en servicio (2).

2.2

Las losas alveolares

Las losas alveolares pretensadas tienen que ser prefabricadas por un industrial debidamente autorizado, en una instalación fija exterior a la obra. Son un elemento superficial plano de hormigón, aligerado con alveolos longitudinales. Las juntas laterales han de estar diseñadas de forma que, cuando estén llenas de hormigón, puedan transmitir esfuerzos cortantes a las losas contiguas (2).

2.3

Piezas de entrevigado

Pueden ser de tipo cerámico, de hormigón, de poliestireno expandido o de otros materiales que cumplan los requerimientos de la Instrucción, que se resumen en la siguiente tabla:

Tabla de exigencias para las piezas de entrevigado

Exigencias para bovedillas	Cerámicos, hormigón y otros	Poliestireno
Ensayo de rotura a flexión	1 kN UNE 67037	1 kN UNE 53981
Valor medio de expansión por humedad	< 0,55 mm/m UNE 67036	----
Reacción al fuego	M1 Piezas a la vista UNE 23727	M1 Resistencia de la capa protectora

Las piezas de entrevigado se pueden considerar simplemente como elementos para aligerar el forjado, o bien como elementos colaborantes cuando son parte integrante de la sección resistente. En este caso, la resistencia característica a compresión del material de la pieza de entrevigado será, como mínimo, la misma que la del hormigón empleado para hormigonar el forjado (11).

2.4

El acero

Armaduras pasivas

Las armaduras pasivas se colocan en obra en la cara superior del forjado como refuerzo de las viguetas a momento negativo para dar continuidad a las tramas y para la formación de chapas de compresión (10.1). Las armaduras han de estar de acuerdo con lo establecido por el artículo 31 de la EHE. La serie de diámetros nominales válida para barras corrugadas es:

Barras corrugadas
6 – 8* – 10* – 12* – 14 – 16* – 20* – 25 – 32 – 40 mm

* Uso habitual en forjados.

En las viguetas, las armaduras básicas electrosoldadas en celosía pueden ser alambres con los diámetros siguientes:

Alambres corrugados o lisos en armaduras básicas electrosoldadas en celosía
4** – 4,5** – 5 – 6 – 7 – 8 – 9 – 10 – 12 mm

** Aptos sólo para elementos transversales de conexión de celosía.

Para las chapas de compresión, las mallas electrosoldadas responderán al tipo B 500 T y estarán formadas por alambres corrugados de la serie:

Alambres corrugados en mallas electrosoldadas
5* – 5,5 – 6 – 6,5 – 7 – 7,5 – 8 – 8,5 – 9 – 9,5 – 10 – 10,5 – 11 – 11,5 – 12 – 14 mm

* En negrilla, los recomendados por la EHE. Para mallas en chapa de compresión se admiten diámetros de 4 y 4,5 mm.

La denominación y límite elástico del acero de armaduras pasivas es:

Denominación del acero	Límite elástico
B 400 S	$\geq 400 \text{ N/mm}^2$
B 500 S	$\geq 500 \text{ N/mm}^2$
B 500 T *	$\geq 500 \text{ N/mm}^2$

* Alambres para mallas electrosoldadas.

Armaduras activas

Las armaduras activas permiten el pretensado (10.2) y se colocan en viguetas y losas alveolares (los elementos industrializados prefabricados en una instalación industrial fija y exterior a la obra).

Estas armaduras están reguladas por el artículo 32 de la EHE. La serie de diámetros nominales válida para alambres de pretensado y la denominación en función de diámetros y de la carga unitaria máxima se expresan en las tablas siguientes:

Serie de diámetros nominales para armaduras activas

Alambres de pretensado
3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 7,5 – 8 – 9,4 – 10 mm

Denominación y límite elástico del acero de armaduras activas, en función del diámetro

Denominación	Serie de diámetros nominales	Carga unitaria máxima
Y 1570 C	9,4 – 10	$\geq 1570 \text{ N/mm}^2$
Y 1670 C	7 – 7,5 – 8	$\geq 1670 \text{ N/mm}^2$
Y 1770 C	3 – 4 – 5 – 6	$\geq 1770 \text{ N/mm}^2$
Y 1860 C	4 – 5	$\geq 1860 \text{ N/mm}^2$

2.5

El hormigón

Se han de utilizar y tipificar los hormigones tal como lo indica la EHE (artículos 30 y 39.2). Por lo tanto, como mínimo se empleará el hormigón HA-25 para el hormigonado de los forjados y para la fabricación de cualquier elemento resistente de hormigón prefabricado. Además, se deben seguir las prescripciones siguientes (12):

- Las consistencias que han de emplearse en el hormigonado de forjados serán fluidas o blandas.
- El árido en el hormigón para forjados tendrá un diámetro 0,4 veces menor que el grueso de la chapa de compresión, con un máximo de 20 mm.
- La tipificación del ambiente será como lo estipula la EHE en los artículos 8.2.2 y 8.2.3.

Ejemplo HA-25/B/20/IIa:

Cemento armado de resistencia característica 25 kN/mm^2 , de consistencia blanda, áridos de 20 mm y ambiente IIa.

Proyectando forjados

3

3.1

Diseño de forjados con viguetas

Luz máxima

La luz máxima de forjados con viguetas (1) será de 10 m.

Chapa de compresión

La chapa de compresión del forjado (17.a) ha de ser, como mínimo, de:

- 40 mm sobre viguetas y piezas de entrevigado cerámico u hormigón.
- 50 mm sobre piezas de entrevigado de otro tipo (como el poliestireno).
- Si la zona sísmica tiene una aceleración de cálculo superior a 0,16 g, será de 50 mm.

Canto del forjado

El canto total del forjado ha de cumplir las limitaciones de deformaciones de flecha (15.2):

- Flecha total a tiempo infinito no mayor que el menor de los valores* $L/250$ y $L/500 + 1$ cm.
- Flecha activa para forjados que soportan tabiques o muros no mayor que el menor de los valores $L/500$ y $L/1000 + 0,5$ cm.

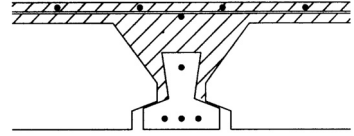
La Instrucción permite obviar el cálculo de la flecha si el canto del forjado es, como mínimo, el resultado de la aplicación de la formulación del apartado 15.2.2, con una luz de cálculo inferior a 7 m y una sobrecarga inferior a 4 kN/m². El canto mínimo necesario se puede determinar en función del tipo de forjado, de la luz, de la carga y de la continuidad estructural entre tramos (véase el anexo 3).

* L es la luz de cálculo de acuerdo con el artículo 7 de la Instrucción.

En este sentido, hemos elaborado unas tablas de obtención de cantos mínimos de forjados que pueden ser de gran utilidad para predimensionarlos. La primera tabla hace referencia a forjados con viguetas pretensadas y la segunda a viguetas armadas. Se entra en cada una de las tablas por la luz de cálculo del forjado y la carga total de éste. Determinados estos parámetros, hay que escoger entre dos situaciones:

- Tipo de tramo
 - Tramo aislado: forjado isostático de un solo tramo apoyado en las paredes extremas.
 - Tramo continuo: casos de forjados de un mínimo de dos tramadas con continuidad.
- Uso del tramo
 - Normal: forjado que soportará tabiques o muros.
 - Cubierta: forjado de cubierta.

Tabla de canto mínimo para forjado de vigueta pretensada

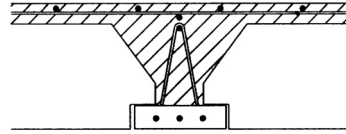


Carga total (kN/m ²)	Tipo de tramo	Uso del tramo	Luz de cálculo (m)						
			4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
6,0	Aislado	Normal	18	20	23	26	29	32	35
		Cubierta	15	18	20	22	25	28	30
	Continuo	Normal	14	17	19	21	24	26	29
		Cubierta	13	15	17	19	21	23	26
6,2	Aislado	Normal	18	21	24	26	30	33	36
		Cubierta	15	18	20	23	26	28	31
	Continuo	Normal	15	17	19	22	25	27	29
		Cubierta	13	15	17	19	22	24	26
6,4	Aislado	Normal	18	21	24	27	30	33	36
		Cubierta	16	18	21	23	26	29	31
	Continuo	Normal	15	17	20	22	25	27	30
		Cubierta	13	15	17	20	22	24	27
6,6	Aislado	Normal	18	21	24	27	31	34	37
		Cubierta	16	18	21	24	26	29	32
	Continuo	Normal	15	18	20	22	25	28	30
		Cubierta	13	16	18	20	22	24	27
6,8	Aislado	Normal	19	22	25	28	31	34	37
		Cubierta	16	19	21	24	27	29	32
	Continuo	Normal	15	18	20	23	26	28	31
		Cubierta	14	16	18	20	23	25	27
7,0	Aislado	Normal	19	22	25	28	32	35	38
		Cubierta	16	19	22	24	27	30	33
	Continuo	Normal	16	18	21	23	26	29	31
		Cubierta	14	16	18	21	23	25	28

Canto mínimo de forjado en cm.

Los cantos inferiores a 17 cm no son recomendables ni construibles.

Tabla de canto mínimo para forjados de vigueta armada



Carga total (kN/m ²)	Tipo de tramo	Uso del tramo	Luz de cálculo (m)						
			4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
6,0	Aislado	Normal	20	23	26	29	33	36	39
		Cubierta	17	19	22	25	28	30	33
	Continuo	Normal	16	18	21	23	26	29	32
		Cubierta	14	16	18	21	23	25	28
6,2	Aislado	Normal	20	23	26	30	33	36	40
		Cubierta	17	20	22	25	28	31	34
	Continuo	Normal	16	19	21	24	27	29	32
		Cubierta	14	16	19	21	24	26	28
6,4	Aislado	Normal	20	24	27	30	34	37	41
		Cubierta	17	20	23	26	29	31	34
	Continuo	Normal	16	19	22	24	27	30	33
		Cubierta	14	17	19	21	24	26	29
6,6	Aislado	Normal	21	24	27	30	34	37	41
		Cubierta	17	20	23	26	29	32	35
	Continuo	Normal	17	19	22	25	28	30	33
		Cubierta	15	17	19	22	24	27	29
6,8	Aislado	Normal	21	24	28	31	35	38	42
		Cubierta	18	21	23	26	30	32	36
	Continuo	Normal	17	20	22	25	28	31	34
		Cubierta	15	17	20	22	25	27	30
7,0	Aislado	Normal	21	25	28	31	35	39	42
		Cubierta	18	21	24	27	30	33	36
	Continuo	Normal	17	20	23	25	29	31	34
		Cubierta	15	17	20	22	25	27	30

Canto mínimo de forjado en cm.

Los cantos inferiores a 17 cm no son recomendables ni construibles.

Armadura de la chapa de compresión

La armadura de la chapa de compresión no será inferior, en ningún caso, a $1\varnothing c/35$ cm en las dos direcciones del forjado (paralela al envigado y perpendicular); ha de cumplir, no obstante, la limitación establecida (20). Aplicando la formulación de la Instrucción, podemos obtener la tabla que reproducimos más abajo, donde consta la armadura mínima necesaria de la chapa de compresión en las direcciones paralela (=) y perpendicular (\perp) al envigado según el tipo de diámetros con que se desee trabajar.

Grosor de la chapa de compresión h_n (mm)	B 400 S $F_{ud} = 347 \text{ N/mm}^2$ $\gamma_r = 1,15$	B 500 S $F_{ud} = 434 \text{ N/mm}^2$ $\gamma_r = 1,15$
40	= $1\varnothing 4c/35$ cm $1\varnothing 5c/35$ cm	= $1\varnothing 4c/35$ cm $1\varnothing 5c/35$ cm
	\perp $1\varnothing 4c/20$ cm $1\varnothing 5c/30$ cm	\perp $1\varnothing 4c/25$ cm $1\varnothing 5c/30$ cm
50	= $1\varnothing 4c/30$ cm $1\varnothing 5c/35$ cm	= $1\varnothing 4c/35$ cm $1\varnothing 5c/35$ cm
	\perp $1\varnothing 4c/15$ cm $1\varnothing 5c/25$ cm	\perp $1\varnothing 4c/20$ cm $1\varnothing 5c/30$ cm

Dado que normalmente se utilizan mallas electrosoldadas, las más adecuadas pueden ser las de comercialización más habitual, que incluimos en la lista siguiente:

- ME 15x15/4-4 B500T
- ME 15x15/5-5 B500T
- ME 15x15/6-6 B500T
- ME 30x15/4-4 B500T
- ME 30x15/4,5-4,5 B500T
- ME 30x15/5-5 B500T
- ME 30x15/6-6 B500T

3.2

Diseño de forjados con losas alveolares

Luz máxima

Luz máxima de forjados con losas alveolares (1): 20 m

Chapa de compresión

Los forjados de losas alveolares pueden proyectarse con chapa de compresión o sin ella. La Instrucción admite la posibilidad de no ejecutar chapa de compresión cuando los esfuerzos laterales no sean importantes; aun así, esta decisión se deberá justificar (2.3.c).

Cuando se disponga chapa de compresión, deberá tener un espesor mínimo de 40 mm (17.a).

Canto del forjado de losas alveolares

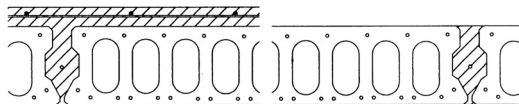
El canto total del forjado tiene que cumplir las mismas limitaciones de deformaciones por flecha que los forjados de viguetas, es decir:

- Flecha total a tiempo infinito no mayor que el menor de los valores $L/250$ y $L/500 + 1$ cm.
- Flecha activa para forjados que soportan tabiques o muros no mayor que el menor de los valores $L/500$ y $L/1000 + 0,5$ cm.

Como en el caso de los forjados de viguetas, la Instrucción permite obviar el cálculo de la flecha si el canto del forjado es, como mínimo, el resultado de la aplicación de la formulación del apartado 15.2.2, con luz de cálculo menor de 12 m y sobrecarga inferior a 4 kN/m². El canto mínimo necesario se puede determinar en función del tipo de forjado, de la luz, de la carga y de la continuidad estructural entre tramos (véase el anexo 3).

Hemos elaborado unas tablas de obtención de cantos mínimos que pueden ser muy útiles en el momento de predimensionar el canto de un forjado. Se entra en cada tabla por la luz de cálculo del forjado y la carga total de éste. También se distinguen los casos en que los forjados han de soportar cubiertas, tabiques o muros.

**Tablas de canto mínimo
para forjados con
losas alveolares pretensadas**



Luz de cálculo entre 4 y 8 metros

Carga total (kN/m ²)	Uso del tramo	Luz de cálculo (m)								
		4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
6,5	Normal	10	11	13	14	16	18	19	21	23
	Cubierta	8	9	10	11	13	14	15	17	18
7,0	Normal	10	12	13	15	17	18	20	22	24
	Cubierta	8	9	11	12	13	15	16	18	19
8,0	Normal	11	12	14	16	18	20	21	23	25
	Cubierta	9	10	11	13	14	16	17	19	20
9,0	Normal	11	13	15	17	19	21	23	25	27
	Cubierta	9	11	12	13	15	16	18	20	21
10,0	Normal	12	14	16	18	20	22	24	26	28
	Cubierta	10	11	13	14	16	17	19	21	23
11,0	Normal	13	15	16	19	21	23	25	27	30
	Cubierta	10	12	13	15	17	18	20	22	24

Luz de cálculo entre 8,5 y 15 metros

Carga total (kN/m ²)	Uso del tramo	Luz de cálculo (m)								
		8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0
6,5	Normal	24	26	28	30	34	38	42	46	50
	Cubierta	20	21	23	24	27	30	34	37	40
7,0	Normal	26	28	30	31	35	39	44	48	NN**
	Cubierta	20	22	24	25	28	31	35	38	42
8,0	Normal	27	29	32	34	38	42	47	NN	NN
	Cubierta	22	24	25	27	30	34	37	41	45
9,0	Normal	29	31	33	35	40	44	49	NN	NN
	Cubierta	23	25	27	28	32	36	39	43	47
10,0	Normal	30	33	35	37	42	47	NN	NN	NN
	Cubierta	24	26	28	30	34	37	42	46	50
11,0	Normal	32	34	37	39	44	49	NN	NN	NN
	Cubierta	26	28	30	31	35	39	44	48	NN

Canto mínimo de forjado en cm.

Las casillas con fondo blanco corresponden a cantos teóricos que no se comercializan normalmente; sus valores son sólo experimentales en relación con la aplicación del método.

Las columnas correspondientes a 13, 14 y 15 m sólo son válidas a título informativo, dado que en estas condiciones las deformaciones siempre deben justificarse.

* NN: forjados de canto superior al máximo considerado por la Instrucción (50 cm).

3.3

Detalles constructivos

La Instrucción aporta un conjunto de detalles tipológicos que resuelven el enlace de los forjados de viguetas o losas con la estructura principal del edificio. No los reproduciremos aquí, pero resumiremos algunas de las condiciones básicas que han cumplir.

Forjados de viguetas (21.2)

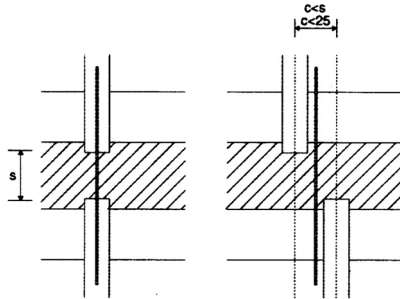
Los enlaces se denominan directos o indirectos. Son directos aquellos en que las viguetas se apoyan sobre paredes o sobre vigas de canto superior al del propio forjado. Son indirectos los otros casos, es decir, cuando las viguetas se apoyan sobre jácenas planas, brochales o cabezas de vigas mixtas. El artículo 21.2 determina la longitud mínima de la zona de apoyo en función de que se trate de un tramo extremo o intermedio.

Losas alveolares (21.3)

Los enlaces de las losas alveolares pueden ser directos o indirectos. Los directos son aquellos en que la losa descansa sobre el elemento principal de la estructura de apoyo. En este caso, cuando se ejecute el forjado no será necesario ningún tipo de apuntalamiento. En contraposición, los indirectos son aquellos en que el enlace se resuelve por una solución de continuidad con armaduras dispuestas en juntas y alveolos. El apoyo indirecto se puede ejecutar con o sin apuntalamiento. Los casos de apuntalado se remiten a la EHE.

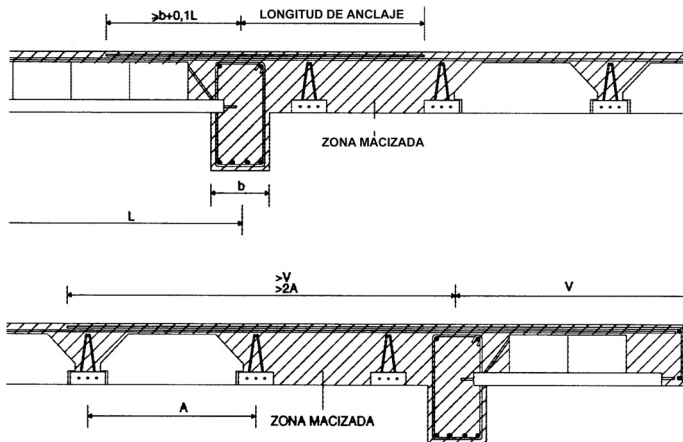
Colocación de las viguetas (23)

En tramos consecutivos, las viguetas pueden colocarse en continuidad a fin de obtener un comportamiento del forjado asimilable al de la viga continua de varios tramos. Para poder llevar a cabo esta opción, las viguetas han de estar enfrentadas. Se permite, sin embargo, que las viguetas, por razón de necesidades de replanteo, puedan desplazarse una distancia inferior a la que haya entre las dos caras enfrentadas de las viguetas (23).

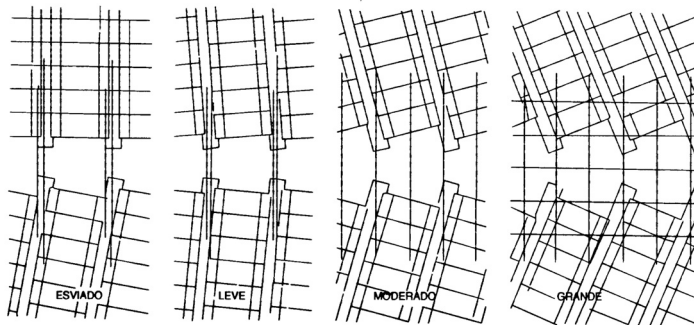


Si las viguetas de un tramo se enfrentan a viguetas perpendiculares en el tramo siguiente, deben adoptarse estas disposiciones:

- La armadura dispuesta sobre las viguetas se ha de anclar por prolongación recta en el tramo de viguetas perpendiculares.
- Hay que macizar una zona paralela al apoyo.



Un tema aparte es el de los enfrentamientos de viguetas en forma oblicua. Dependiendo del ángulo que formen las directrices, hay que adoptar medidas que garanticen la continuidad mediante la colocación de armaduras como las representadas en los gráficos.



3.4

Documentación de proyecto y ejecución

La Instrucción exige que antes de la ejecución de los forjados se posea, como mínimo, un conjunto de información que debe recogerse en la memoria y en los planos (3.1) como se indica seguidamente.

En la memoria técnica:

Datos que han de constar en la memoria del proyecto

<input type="checkbox"/>	Acciones de cálculo en las que sean identificables la sobrecarga prevista y la carga total.
<input type="checkbox"/>	Coefficientes de seguridad.
<input type="checkbox"/>	Nivel de control.
<input type="checkbox"/>	Características del hormigón.
<input type="checkbox"/>	Características del acero.
<input type="checkbox"/>	Solicitaciones más desfavorables de cada nervio tipo.
<input type="checkbox"/>	Indicación de los componentes del forjado que gocen de distintivo reconocido.
<input type="checkbox"/>	Documentación que acredite la posesión de distintivo oficial o bien certificados de garantía firmados por persona física, respecto de la capacidad a cortante del forjado.

Es difícil que, en fase de redacción de proyecto ejecutivo, se disponga de la documentación incluida en los dos últimos apartados, porque a menudo se desconoce el fabricante que suministrará las viguetas. Hay, pues, que prever que se deberá poseer esta información antes del montaje del forjado, por lo que la Dirección Facultativa tendrá que exigirla e incorporarla al proyecto.

En los planos:

Los planos han de estar firmados por el proyectista o por la Dirección Facultativa. Si son elaborados por un tercero, habrán de contar con la conformidad de la Dirección Facultativa. En cualquiera caso, deberán ir firmados por la persona física que los haya realizado. En ellos, además, deberán figurar, como mínimo, los siguientes datos:

Datos que han de constar en los planos

<input type="checkbox"/>	El canto total y el grosor de la chapa de compresión.
<input type="checkbox"/>	Dimensión y situación de agujeros para el paso de instalaciones, con indicación de la forma de solucionarlos.
<input type="checkbox"/>	El tipo de elementos estructurales que se colocarán en cada zona.
<input type="checkbox"/>	Intereje entre viguetas.
<input type="checkbox"/>	Forma, dimensiones y material del entrevigado.
<input type="checkbox"/>	Longitud, posición y diámetro de las armaduras que se colocarán en obra.
<input type="checkbox"/>	Apuntalado de cada tramo y distancia máxima entre sopandas.
<input type="checkbox"/>	Detalles de enlace del forjado con la estructura principal y los macizados.

Finalmente, conviene recordar la exigencia renovada sobre la Autorización de uso que debe poseer el fabricante de los prefabricados con función resistente. Dicha Autorización ha de ir acompañada de una ficha de características con datos para el cálculo, la ejecución y el control del forjado.

Construyendo forjados

4

4.1

Ejecución

Las disposiciones sobre la ejecución de los forjados son, en su mayoría, muy similares a las de la norma anterior. La adaptación a la EHE introduce algunas modificaciones. Los apartados referentes a la colocación de armaduras, el fraguado del hormigón y los procesos de desapuntalado son los que resultan más afectados. Resumiremos a continuación las prescripciones sobre su ejecución.

Transporte, descarga y manipulación (24)

Si hay viguetas o losas dañadas hasta el punto de que su capacidad resistente haya quedado reducida, no deben ser utilizadas.

Acopio en obra (25)

Se han de apilar sobre durmientes en pilas de 1,5 m de altura máxima. El voladizo que se deje no sobrepasará nunca los 0,5 m.

Apuntalado (26)

Los puntales se han de colocar sobre durmientes que no puedan asentarse en el caso de que se apoyen sobre el terreno. Hay que arriostrarlos en dos direcciones perpendiculares. Cuando el peso del propio forjado sea superior a 3 kN/m², o bien la altura de los puntales sea mayor de 4 m, hay que realizar en el proyecto un estudio detallado de los apuntalamientos. El apuntalamiento ha de soportar una carga característica equivalente al peso del forjado más 1 kN/m².

Colocación de viguetas y piezas de entrevigado (27)

En primer lugar, hay que colocar las sopandas correctamente niveladas y, después, las viguetas con el intereje de proyecto con las piezas de entrevigado extremas. A continuación se ajustan los puntales y se coloca el resto de piezas de entrevigado.

Colocación de armaduras (28)

A diferencia de la norma anterior, la armadura de negativos se ha de colocar preferentemente debajo de la armadura de reparto; sin embargo, en determinadas condiciones de control de anclaje y recubrimiento se admite disponerla por encima de la armadura de reparto. En forjados de losas alveolares, las armaduras de continuidad y de la losa superior se han de mantener en su lugar con separadores, de acuerdo con lo establecido por la EHE en los apartados 37.2 y 66.2. El primero de los dos apartados mencionados define su calidad, mientras que el segundo establece su separación. La distancia máxima entre separadores será equivalente a $50\varnothing$ (nunca será superior a 50 cm). En ningún caso pueden utilizarse como separadores maderas, fragmentos cerámicos o cualquier residuo de obra.

Hormigonado en obra (29)

Este apartado ha sufrido modificaciones en el sentido de suprimir referencias a la calidad del hormigón -que hoy en día queda definida en la EHE-; se han añadido, en cambio, prescripciones para mejorar la puesta en obra y la durabilidad del forjado. Se exigen los extremos siguientes:

- Los elementos de los forjados han de estar limpios en el momento de hormigonar.
- Los elementos cerámicos y de hormigón prefabricado han de estar convenientemente humedecidos.
- El hormigón debe tener una dosificación que permita el relleno correcto de nervios y juntas.
- Hay que hormigonar al mismo tiempo los nervios y la chapa de compresión.
- Hay que compactar con vibrador las juntas entre losas alveolares.

Fraguado del hormigón (30)

El control de este proceso se remite a la artículo 74 de la EHE. Los comentarios del artículo proponen un método de cálculo para establecer el periodo de fraguado. Aplicando el método a los siguientes parámetros, se obtiene la tabla siguiente que reproducimos más abajo:

- Exposición ambiental I y II (para exposiciones ambientales del tipo III, IV y H, hay que multiplicar los valores de la tabla por 1,15).
- Hormigón con cemento CEM I con relación agua/cemento $\geq 0,6$.

Tabla de tiempo de fraguado en días

Condiciones ambientales durante el fraguado	T durante el fraguado		
	T media < 6°C	6°C ≤ T media < 12°C	T media ≥ 12°C
No expuesto al sol No expuesto al viento Humedad relativa > 80%	7	6	4
Exposición al sol media Velocidad del viento media Humedad relativa de 50 a 80%	9	7	5
Exposición al sol intensa Velocidad del viento alta Humedad relativa < 50%	14	11	8

Desapuntalado (31)

Los plazos de desapuntalado siguen lo que determina el artículo 75 de la EHE. La modificación de estos plazos se debe documentar y ha de ser aprobada por la Dirección Facultativa. No se pueden quitar puntales sin la autorización de la Dirección Facultativa. La retirada de puntales debe efectuarse desde el centro del tramo hacia el extremo; en los voladizos, desde el extremo volado hacia el arranque.

Veamos un ejemplo de aplicación de cálculo del periodo de desapuntalado de acuerdo con la formulación de los comentarios del artículo 75 de la EHE. La tabla que mostramos sólo es válida para el caso de forjado encofrado que, al ser desapuntalado, no recibe carga de puntales inmediatamente superiores (si la recibe, se puede consultar la aplicación del método en la publicación “*Guía de aplicación de la Instrucción de Hormigón Estructural EHE*”, publicada por la Comisión Permanente del Hormigón del Ministerio de Fomento).

Tabla de tiempo mínimo de desapuntalado, en días, para un único forjado apuntalado

Q/G*	Temperatura media diaria durante los días de apuntalado en °C					
	5°	10°	15°	20°	25	30
2	11	8	6	5	5	4
1,75	12	9	7	6	5	4
1,50	13	10	8	7	6	5
1,25	15	11	9	8	7	6
1	18	13	11	9	8	7

* G es la carga de cálculo en el momento de desapuntalar (peso propio del forjado más sobrecarga de construcción); Q es la diferencia entre la carga de cálculo total del forjado menos el valor de G.

Se observa que, en el mejor de los casos -cuando las temperaturas son elevadas-, el tiempo mínimo de desapuntalado no baja de cuatro días.

Ejecución de tabiques (32)

Se han de adoptar soluciones para evitar la entrada en carga de los tabiques al producirse las deformaciones propias del forjado.

4.2

Control

El control de calidad de los forjados se concreta en tres apartados:

- Control de recepción de elementos resistentes y entrevigado (34)
- Control del hormigón y de las armaduras (35)
- Control de la ejecución (36)

4.2.1 Control de recepción de elementos resistentes y entrevigados

Existen dos niveles de control: intenso y normal. Para cada suministro de material que llegue a la obra, es necesario efectuar un control documental y un control de recubrimientos.

Control documental

Se resume en las tablas que adjuntamos a continuación:

Control documental – Comprobaciones previas a la recepción		
Se solicitará al fabricante de los elementos que componen el forjado:		
<input type="checkbox"/>	Vigencia de la Autorización de uso	Ha de estar vigente en el momento del inicio de la construcción de los forjados.
<input type="checkbox"/>	Características fisicomecánicas	Las características fisicomecánicas han de ser iguales o superiores a las indicadas en el proyecto de ejecución del edificio.

Control documental – Comprobaciones en cada suministro a la obra			
Elementos resistentes	<input type="checkbox"/>	Marcado	Han de llegar marcados con la fecha de fabricación y con los datos identificativos del fabricante y del elemento, con especificación de su longitud; estos datos han de coincidir con los de la hoja de suministro.
	<input type="checkbox"/>	Geometría y armado	Las características geométricas y el armado han de estar de acuerdo con la Autorización de uso y han de coincidir con lo que consta en el proyecto ejecutivo.
	<input type="checkbox"/>	Recubrimient o mínimo	Los recubrimientos mínimos han de cumplir los controles del artículo 34.3.
	<input type="checkbox"/>	Certificado distintivo	Han de disponer del certificado acreditativo de poseer un distintivo oficialmente reconocido.
	<input type="checkbox"/>	Certificados garantía	Si procede, hay que comprobar que dispone de: - Certificado de garantía de resistencia a esfuerzo cortante para forjados de viguetas sin armadura transversal. - Certificado de garantía de resistencia a esfuerzo rasante en forjados sin armaduras de cosido.
Piezas de entrevigado	<input type="checkbox"/>	Geometría	La geometría ha de corresponder a la indicada en la Autorización de uso y coincidir con lo que especifica el proyecto ejecutivo.
	<input type="checkbox"/>	Certificados	<input type="checkbox"/> Certificado de cumplimiento de ensayo de rotura a flexión. <input type="checkbox"/> Certificado de expansión por humedad, si son cerámicas.
	<input type="checkbox"/>	Resistencia al fuego	Garantía documental de comportamiento de reacción al fuego -al menos M1- si no son cerámicas o de hormigón.

Control de recubrimientos

Si la Dirección Facultativa no indica lo contrario, el control de recubrimientos puede no efectuarse cuando se trate de elementos resistentes que tengan un distintivo oficialmente reconocido. El control debe efectuarse sobre una muestra de las viguetas o losas que han llegado a la obra, antes de colocarlas en su ubicación definitiva.

La extensión de lotes y el número de ensayos de control constan en la tabla que sigue:

Determinación de lotes para el control de recubrimientos

Tipo de forjado	Medida del lote	Control intenso Núm. de ensayos	Control normal Núm. de ensayos
Interior	500 m ² sin sobrepasar dos plantas	2	1
Cubierta	400 m ²	2	1
Sanitario	300 m ²	2	1
Exterior	150 m ² sin sobrepasar una planta	2	1

Determinados los lotes, se procede a la realización del ensayo según se trate de un elemento con armaduras activas o pasivas.

Ensayo de recubrimiento

Tipos de armadura	Tipo de ensayo	Situación de ensayo	Ensayo
Activa	Visual	En los dos bordes del elemento	Medida de la distancia desde las armaduras a los bordes
Pasiva	Repicado	Tres secciones, una situada en el centro	

Los elementos que se han repicado para realizar el ensayo no pueden colocarse en ningún forjado. Realizado el ensayo de recubrimiento, se evalúan los resultados y se verifican para cada ensayo.

Criterio de valoración del ensayo

Expresión de evaluación*	Condiciones que deben cumplirse simultáneamente para cada muestra	
$\delta = r_{\min} - x_i$	<input type="checkbox"/>	No presentar armaduras con $\delta > 3\text{mm}$
	<input type="checkbox"/>	Presentar como máximo una armadura con $\delta > 2\text{mm}$

* r_{\min} es el recubrimiento mínimo de acuerdo con la tabla 37.2.4 de la EHE.
 x_i es el valor mínimo del recubrimiento real obtenido del ensayo.

Criterio de aceptación o rechazo

Se aceptarán los lotes que cumplan el control documental y los que superen en todas las muestras el ensayo de recubrimientos. Si algún elemento no cumple las condiciones del ensayo de recubrimientos, se rechazará.

4.2.2 Control del hormigón y de las armaduras

El control de calidad del hormigón empleado para el hormigonado de forjados, así como el del acero colocado en obra, seguirá lo que establece la Instrucción EHE. Recordaremos aquí tan sólo los artículos de referencia:

- Control del hormigón: artículos 81, 26, 27 28 y 29
- Control del acero: artículo 90

La Instrucción desaconseja el uso de hormigones no fabricados en una central. En caso de emplearlos, hay que aplicar los controles definidos en la EHE.

4.2.3 Control de la ejecución

Se ha de llevar a término siguiendo lo que establece la Instrucción EHE en el artículo 95. Durante la ejecución del forjado, se tienen que comprobar los aspectos siguientes:

Control de ejecución

<input type="checkbox"/>	Almacenaje	El almacenaje ha de cumplir lo establecido en el artículo 25 de la EFHE.
<input type="checkbox"/>	Estado de vigas y losas	Las viguetas o losas alveolares no han de presentar daños que afecten a su capacidad resistente.
<input type="checkbox"/>	Enlaces y apoyos	Los enlaces y apoyos son correctos, según el artículo 21 de la EFHE.
<input type="checkbox"/>	Apuntalados	La ejecución de apuntalados es correcta, así como la distancia entre sopandas y la resistencia de puntales (artículo 26).
<input type="checkbox"/>	Colocación	La colocación de las viguetas ha de coincidir con la prevista en el proyecto.
<input type="checkbox"/>	Armaduras	La longitud y diámetro de las armaduras colocadas en obra son los indicados en los planos.
<input type="checkbox"/>	Separadores	La posición y fijación de las armaduras se realiza con separadores adecuados (artículo 28).
<input type="checkbox"/>	Disposiciones constructivas	Las disposiciones constructivas son las previstas en el proyecto.
<input type="checkbox"/>	Limpieza y humedecimiento	Se han de limpiar y humedecer las superficies de los elementos antes del hormigonado (artículo 29).
<input type="checkbox"/>	Grosor de la chapa de compresión	El grosor de la losa superior hormigonada en obra coincide con lo establecido en el proyecto.
<input type="checkbox"/>	Compactación y fraguado	La compactación y el fraguado del hormigón son correctos (artículo 30).
<input type="checkbox"/>	Desapuntalado	Se cumplen las condiciones para proceder al desapuntalado (artículo 31).
<input type="checkbox"/>	Tolerancias	Las tolerancias son las establecidas en el pliego de prescripciones técnicas particulares.
<input type="checkbox"/>	Canto*	El canto total ha de ser el previsto en el proyecto.
<input type="checkbox"/>	Agujeros*	La posición y dimensión de los agujeros son las previstas en el proyecto o están documentalmente aceptadas por la Dirección Facultativa.

* No son literales de la Instrucción.

4.3

Documentación final de obra

La Ley de Ordenación de la Edificación, tal como ya lo prescribía la Ley de la Edificación de Cataluña, establece la necesidad de elaborar una documentación final de obra que refleje la realidad de las obras ejecutadas y recoja las variaciones realizadas sobre el proyecto ejecutivo. La Instrucción que nos ocupa, siguiendo esta línea, estipula que en la documentación final de obra debe haber un apartado referido al forjado. Este apartado debe reunir los datos que especificamos en la tabla (3.2):

Documentación final de obra

<input type="checkbox"/>	Autorización de uso	Copia de la ficha de características técnicas del forjado utilizado con el sello de la Autorización de uso.
<input type="checkbox"/>	Planos	Planos de los forjados efectivamente ejecutados, con la inclusión de las modificaciones que se hayan efectuado respecto del proyecto ejecutivo.
<input type="checkbox"/>	Ensayo de dilatación	Si se han utilizado piezas de entrevigado cerámico, los resultados del ensayo de dilatación potencial emitidos -como máximo seis meses antes de ser empleadas- por el laboratorio acreditado.
<input type="checkbox"/>	Reacción al fuego	Si se han usado piezas de entrevigado de poliestireno, el certificado de comportamiento de reacción al fuego.
<input type="checkbox"/>	Distintivos oficiales	Certificado acreditativo de poseer un distintivo oficialmente reconocido; si no se dispone de él, se ha de aportar una justificación documental, firmada por una persona física, referida a los resultados de control interno del hormigón del último mes, y de los de flexión y cortante de las viguetas o losas alveolares de los
<input type="checkbox"/>	Control de recepción	Resultados del control de recepción.
<input type="checkbox"/>	Control de ejecución	Resultados del control de ejecución del forjado.
<input type="checkbox"/>	Certificado del fabricante	Certificado del fabricante firmado por una persona física, en el que se indique la conformidad del material suministrado en relación con lo que consta en la Autorización de uso.

Calculando forjados

5

En la línea de lo que se ha comentado en la Introducción, queremos recordar que esta guía no pretende sustituir la profundización en el texto legal, siempre necesaria, porque nos encontramos ante una Instrucción con un uso muy específico para los profesionales del cálculo estructural y para los industriales fabricantes de productos.

Este último capítulo se ha concebido para repasar los diferentes conceptos de cálculo e identificar sus principales novedades. Como primera aproximación, apuntaremos que los métodos generales de cálculo no han sufrido grandes cambios. La teoría de los estados límite continúa siendo su base teórica. Las modificaciones que se han introducido se pueden resumir en cuatro aspectos:

- Se han adaptado las prescripciones a la normativa EHE.
- Se han modificado considerablemente algunas comprobaciones de esfuerzos rasantes y cortantes.
- Se han añadido comprobaciones relativas a nuevos estados límite.
- Se ha incluido un método simplificado para el cálculo de flechas.

Finalmente, los anexos de la Instrucción aportan quizás las novedades más importantes, en cuanto que proponen métodos de comprobación frente a situaciones reales de proyecto que antes no quedaban definidas:

- Reparto transversal de cargas lineales y puntuales en forjados de viguetas (anexo 2 de la Instrucción).
- Reparto transversal de cargas lineales y puntuales en forjados de losas alveolares (anexo 3 de la Instrucción).
- Coacciones no deseadas en losas alveolares (anexo 4 de la Instrucción).
- Ensayos de resistencia a esfuerzo cortante en forjados de viguetas sin armadura transversal (anexo 5 de la Instrucción).
- Ensayos de resistencia a esfuerzo cortante en forjados sin armadura de cosido (anexo 6 de la Instrucción).

Con el propósito de revisar brevemente los diferentes temas involucrados en el cálculo, recogidos en los artículos 14, 15 y 16 de la Instrucción, reproduciremos los títulos de los artículos siguiendo la misma numeración que consta en el texto legal e introduciendo los comentarios oportunos. Antes, sin embargo, glosaremos las aportaciones sobre las bases de cálculo y análisis estructural recogidas en el capítulo segundo de la Instrucción.

5.1

Bases de cálculo

Se siguen las directrices que marca la EHE desde su publicación, pero con la incorporación de los conceptos de fiabilidad y durabilidad. Con respecto al análisis estructural, los cambios son mínimos. Resumiremos todo ello en los puntos siguientes:

- La Instrucción adopta el método de los estados límite para asegurar la fiabilidad del proyecto. Se adoptan una serie de coeficientes que ponderan las variables de sollicitaciones, resistencia y dimensiones que se utilizan para el cálculo. Se tiende a reducir los errores de ejecución con sistemas de aseguramiento de la calidad, que abarcan desde el proyecto hasta el mantenimiento, pasando por la ejecución y el uso. En cuanto al cálculo, se han de considerar tres situaciones: las permanentes, las transitorias y las accidentales (5.1).
- Se fija una estrategia para afrontar la durabilidad de los forjados paralela a la que la EHE establece para otros elementos estructurales. La Instrucción remite a las tablas de la EHE para la determinación de las exposiciones ambientales. En definitiva, el ambiente que define el forjado viene determinado por la clase general frente a la corrosión de armaduras y por la clase específica respecto a degradaciones diferentes de la corrosión (5.3).
- Las acciones de cálculo se ponderan con los coeficientes establecidos en el artículo 12 de la EHE y se combinan de acuerdo con el 13. Se proponen, no obstante, unos coeficientes alternativos de menor valor que se pueden emplear en el caso de trabajar con elementos resistentes prefabricados que tengan un distintivo oficialmente reconocido, siempre que en el control de obra se lleven a término y se documenten una serie de comprobaciones (6).

- Los aspectos relativos al análisis de solicitaciones, como por ejemplo la luz de cálculo, el cálculo lineal en la hipótesis de viga continua de inercia constante y la redistribución de las leyes de momentos, se conservan como en la norma anterior. También se mantiene el valor para el momento negativo mínimo en apoyos sin continuidad $-1/4$ del positivo del vano-, así como para el momento positivo mínimo en el centro de tramo $-1/2$ del isostático del vano- (7).
- Se incorporan las referencias a los anexos 2,3 y 4, relativos, respectivamente, a:
 - Reparto transversal de cargas lineales y puntuales en forjados de viguetas.
 - Reparto transversal de cargas lineales y puntuales en forjados de losas alveolares.
 - Consideración de coacciones no deseadas en losas apoyadas sin continuidad (7).
- El tratamiento de los esfuerzos de pretensado y las pérdidas de fuerza se mantienen también como en la anterior norma; sólo se observa una ligera reducción del valor de tensiones de compresión posteriores a la transferencia, que pasa del 62,5% al 60% de la resistencia característica a compresión del hormigón a la edad en que ésta se produce (8).

5.2

Los estados límite últimos

Corresponden al artículo 14 de la Instrucción, que revisaremos a continuación, incidiendo especialmente en las modificaciones introducidas:

14 *Estados límite últimos*. No presenta cambios

14.1 *Estado límite de agotamiento frente a solicitaciones normales*

Se ha adaptado el contenido a la EHE, refiriéndolo al artículo 42.

14.2 *Estado límite de agotamiento frente a cortante*

14.2.1 *Forjado de viguetas*

El agotamiento por tracción oblicua en viguetas sin armadura transversal se reduce a la mitad. Se aceptan valores de resistencia mayores cuando hay un determinado control de producción, de acuerdo con lo que establece el anexo 5 de la Instrucción.

14.2.2 Forjado de losas alveolares pretensadas

14.2.2.1 Cortante longitudinal

Se modifica la determinación del esfuerzo cortante de agotamiento por tracción del alma en la zona en que $M_d \geq M_o$. La formulación cambia para adaptarse al apartado 44.2.3.2.1 de la EHE.

14.2.2.2 Cortante vertical en juntas

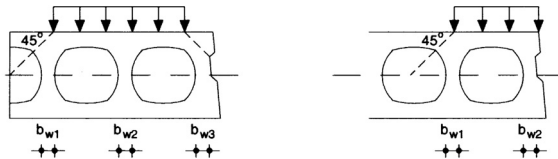
Sin cambios.

14.3 Estado límite de agotamiento por esfuerzo rasante

Se adapta su formulación al artículo 47.2 de la EHE. Se admite un incremento del valor admisible de esfuerzo rasante en forjados de viguetas, que ahora se cuantifica en un 20%, siempre que se justifique de acuerdo con los ensayos del anexo 6 de la Instrucción.

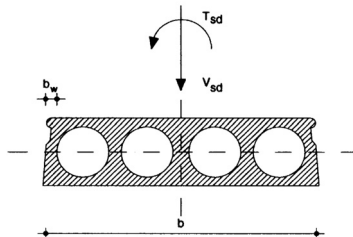
14.4 Estado límite de punzonamiento en forjados

Se mantiene igual, pero en su parte final se añaden condiciones para la aplicación de las fórmulas y disposiciones constructivas. De esta manera se determina la forma de actuar en el caso de cargas concentradas sobre losas alveolares y en el de colocación de refuerzos pasivos; se estudia también el caso de cargas en bordes.



14.5 Estado límite de agotamiento por torsión en losas alveolares pretensadas

El cálculo de este estado límite es nuevo. Se propone una formulación para evaluar la capacidad a cortante de losas sometidas simultáneamente a esfuerzos de torsión y cortantes.



14.6 Casos especiales de carga y sustentación

14.6.1 Flexión transversal debida a carga concentrada en losas alveolares pretensadas

Es un apartado nuevo que limita las cargas concentradas sobre losas alveolares sin armadura para el reparto transversal de cargas. Este tipo de cargas se ha de limitar porque las losas prefabricadas no tienen armadura transversal. Se plantean, pues, dos situaciones: la de cargas en los bordes de la losa y la de cargas en el interior de la losa.

14.6.2 Capacidad de carga de losas alveolares pretensadas apoyadas en tres bordes

También es un apartado nuevo. Indica la forma de considerar los momentos torsores que aparecen en los bordes de las losas. Para estos casos, se propone igualmente una limitación de la capacidad de carga de la losa.

5.3

Los estados límite de servicio

Se definen en el artículo 15 de la Instrucción:

15 Estados límite de servicio

15.1 Estado límite de fisuración

Se actualiza el contenido haciendo referencia al artículo 49 de la EHE, a partir del cual se realizan las comprobaciones de fisuración frente a diferentes tipos de esfuerzos.

15.1.1 Fisuración por compresión

Es un apartado nuevo que especifica la comprobación de estas fisuras a través del apartado 49.2.1 de la EHE.

15.1.2 Fisuración por tracción

Es un apartado nuevo. Especifica, haciendo referencia al apartado 49.2.4 de la EHE, las aberturas máximas de fisuras en función de los ambientes o clases de exposición y establece como método de cálculo el del apartado 49.2.5 de la misma Instrucción.

15.2 Estado límite de deformación

Se actualiza la referencia normativa al artículo 50 de la EHE, aunque se han de complementar las directrices generales de de la EHE con las particulares que aporta la nueva Instrucción de forjados de viguetas y losas.

15.2.1 Límites de flecha

Se han reducido de tres a dos los casos de limitaciones de flecha. La reducción ha consistido, de hecho, en limitar la flecha activa admisible con el mismo valor para forjados que soporten tabiques que para forjados que soporten muros. La Instrucción ha conservado la opción más restrictiva, que corresponde al caso de los muros.

15.2.2 Canto de los forjados

El método de verificación de los cantos mínimos de forjado, que permite obviar la justificación de cumplimiento de límites de flecha, se ha adaptado a la simplificación comentada en el apartado anterior. Ahora, la tabla de coeficientes establece únicamente dos tipos de carga: forjados de cubierta o forjados con tabiques o muros. En el apartado 3.1 de esta guía se ha realizado una aplicación de este método.

15.2.3 Cálculo de flecha

15.2.3.1 Método general

Se actualiza la referencia normativa al artículo 50.2.1 de la EHE.

15.2.3.2 Método simplificado

Es un apartado nuevo, aunque, de hecho, consiste en una adaptación del método simplificado de la EHE al caso de forjados. El cálculo de la flecha total se plantea como la suma de la flecha instantánea más la diferida. Para el cálculo de la flecha instantánea, se propone un valor de inercia equivalente que proporciona la participación de la inercia del forjado en el centro de tramo y en los apoyos o empotramientos. Con respecto a la flecha diferida, se propone el mismo procedimiento que se halla en el apartado 50.2.2.3 de la EHE, es decir, multiplicar la flecha instantánea por un factor que tiene en cuenta la cuantía geométrica de la armadura a compresión y la duración de la carga.

5.4

Comprobaciones previas al hormigonado en obra

Son objeto del artículo 16 de la Instrucción:

16.1 *Condiciones de apuntalado y colocación de sopandas*

Sin cambios. Sólo se ha actualizado la referencia al artículo 12.1 de la EHE.

16.2 *Comprobaciones de viguetas y losas alveolares pretensadas*

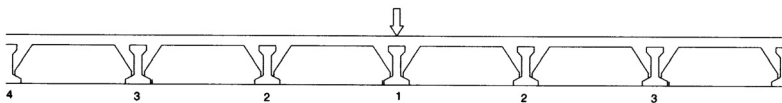
Sin cambios.

5.5

Anexos de cálculo

Anexo 2. Reparto transversal de cargas lineales y puntuales en forjados de viguetas

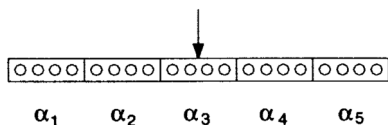
Establece un método para evaluar la contribución de las viguetas en el reparto transversal de cargas lineales y puntuales en función de la distancia respecto de la carga. Se especifica también la armadura transversal que se ha disponer en la chapa de compresión en función de los valores de carga que se deban repartir. Las viguetas en posición 4 respecto del punto de aplicación de la carga ya no contribuyen al reparto. Las posiciones 3, 2 y 1 tienen una participación creciente de acuerdo con su proximidad a la carga.



Anexo 3. Reparto transversal de cargas lineales y puntuales en forjados de losas alveolares

Se proponen dos métodos para evaluar el reparto transversal de cargas sobre las losas alveolares. El primer método, denominado de “distribución de la carga según la teoría de la elasticidad”, supone un reparto de las cargas entre un número determinado de elementos de losa alveolar. El segundo método, deno-

minado “sin distribución de carga”, supone que cada elemento de losa alveolar debe soportar todas las cargas que se le aplican. La utilización de un método u otro depende del hecho de que se limiten o no se limiten los desplazamientos laterales de las losas. Las tablas para la aplicación de los métodos figuran en el mismo anexo.



Anexo 4. Coacciones no deseadas en losas alveolares pretensadas

Este anexo aborda el hecho de que las losas apoyadas en los extremos sufren a menudo coacciones impuestas por otros elementos estructurales o constructivos que impiden su giro. Esta característica puede favorecer la aparición de fisuras o patologías por cortante en las proximidades del apoyo. El anexo indica tres salidas para resolver el caso: proyectar los apoyos sin coacción de giros, calcular la unión de forma que las fisuras que aparezcan no sean peligrosas o considerar en el cálculo los momentos negativos originados por las coacciones. Con respecto a este tercer punto, se desarrolla un procedimiento que permite determinar la colocación de armadura suplementaria o soluciones constructivas concretas en función del valor de los momentos originados por las coacciones.

Anexo 5. Ensayos de resistencia a esfuerzo cortante en forjados de viguetas sin armadura transversal

La resistencia a cortante de estos forjados puede aumentarse respecto de la indicada por defecto en la Instrucción si se cumplen las prescripciones del anexo, que se basan en una serie de limitaciones tipológicas y en un determinado control de producción. En cuanto a la tipología, se limita a forjados de viguetas pretensadas, de canto total de 35 cm como máximo y grueso de alma de las viguetas no superior a 6 cm. Como resultado de los ensayos establecidos, se emite un certificado de garantía que se ha de adjuntar a la documentación de la obra.

Anexo 6. Ensayos de resistencia a esfuerzo rasante en forjados sin armadura de cosido

Este anexo se aplica para justificar el incremento del 20% de capacidad a esfuerzo rasante respecto de lo que marca por defecto la Instrucción. Es de aplicación para forjados con un canto total máximo de 35 cm. Como resultado de los ensayos establecidos, se emite un certificado de garantía que se ha de adjuntar a la documentación de la obra.

Anexos

Anexo 1

Equivalencia de los artículos entre las instrucciones EFHE y EF-96

En la tabla siguiente se muestra la correspondencia de cada artículo de la nueva Instrucción con los de la precedente. En los casos en que las disposiciones son nuevas y el artículo no tiene un correlato con la norma precedente, la carencia de relación se indica por medio de la referencia *s/r*. La correspondencia sólo pretende evidenciar que los artículos especificados tratan del mismo tema, pese a que las prescripciones concretas puedan ser diferentes, tal como se ha indicado en esta publicación.

Tabla de equivalencia de artículos entre normativas

EFHE	EF-96	EFHE	EF-96
Capítulo 1 Introducción		15.2.1	6.3.6.2
1	1/1.2.1/1.2.2/1.2.3	15.2.2	6.3.6.3
2.1	1.2	15.2.3	6.3.6.1
2.2	1.2.1	16	5
2.3	1.2.2	Capítulo 5 Condiciones generales y constructivas	
3.1	10.1	17	4
3.2	10.2	18	4.2
4	1.3	19	4.3
Capítulo 2 Bases de cálculo y análisis estructural		20	4.4
5	s/r	21	7
6	6.1	22	7.2
7	6.2	23	7.3
8	2.3	Capítulo 6 Ejecución	
Capítulo 3 Propiedades tecnológicas de los materiales		24	8.1
9	s/r	25	8.2
10.1	2.1	26	8.3
10.2	2.2/2.3	27	8.4
10.3	s/r	28	8.5
11	3	29	8.6
12	s/r	30	8.7
13	s/r	31	8.8
Capítulo 4 Cálculos relativos a los estados límite		32	s/r
14	6.3.1	Capítulo 7 Control	
14.1	6.3.2	33	s/r
14.2	6.3.3	34	9.1
14.2.1	6.3.3.1	35	9.2
14.2.2	6.3.3.2	36	9.3
14.3	6.3.3.1	Anexos	
14.4	6.3.4	anexo 1	anexo 1
14.5	s/r	anexo 2	s/r
14.6	s/r	anexo 3	s/r
15	s/r	anexo 4	s/r
15.1	6.3.5	anexo 5	s/r
15.2	6.3.6	anexo 6	s/r

Anexo 2

Unidades de medida y tablas de conversión

Las unidades que se han de emplear en toda la documentación relativa a forjados son las del Sistema Internacional (S.I.). Recordemos las principales unidades y algunas equivalencias fundamentales:

Concepto medido	Unidad de medida*
Resistencia y tensión	$\text{N/mm}^2 = \text{MN/m}^2 = \text{MPa}$
Fuerza	kN
Fuerza por unidad de longitud	kN/m
Fuerza por unidad de superficie	kN/m^2
Fuerza por unidad de volumen	kN/m^3
Momento	mkN

* N= Newton kN= kiloNewton MN= MegaNewton MPa=MegaPascal

Las equivalencias entre unidades son las siguientes:

Newton - kilopondio
$1 \text{ N} = 0,102 \text{ kp} \cong 0,1 \text{ kp}$
$1 \text{ kp} = 9,8 \text{ N} \cong 10 \text{ N}$

Newton/milímetro cuadrado y kilopondio/centímetro cuadrado
$1 \text{ N/mm}^2 = 10,2 \text{ kp/cm}^2 \cong 10 \text{ kp/cm}^2$
$1 \text{ kp/cm}^2 = 0,098 \text{ N/mm}^2 \cong 0,1 \text{ N/mm}^2$

Ejemplos de aplicación en casos habituales en el cálculo de forjados:

Concepto	M.K.S	S.I.
Resistencia característica del hormigón	250 kp/cm^2	25 N/mm^2
Resistencia característica del acero	5100 kp/cm^2	510 N/mm^2
Peso propio de un forjado	250 kp/m^2	$2,5 \text{ kN/m}^2$
Densidad del hormigón armado	2500 kp/m^3	25 kN/m^3
Sobrecarga de uso en garajes	400 kp/m^2	4 kN/m^2
Sobrecarga lineal de barandilla	200 kp/m	2 kN/m
Carga puntual	1 T	10 kN
Momento de un forjado	2 mT	20 mkN
Esfuerzo cortante	5 T	50 kN

Anexo 3

Cantos mínimos de forjados para obviar la comprobación de deformaciones

Limitaciones del método

Sobrecargas menores de 4 kN/m²

Forjado de viguetas: luz de cálculo menor de 7 m

Forjado de losas alveolares: luz de cálculo menor de 12 m

Canto mínimo h_{min}

$$h_{min} = \delta_1 \delta_2 L / C$$

con los valores

$$\delta_1 = \sqrt{q/7} \quad \text{donde } q \text{ es la carga total en kN/m}^2$$

$$\delta_2 = \sqrt[4]{L/6}$$

L = luz de cálculo del forjado en metros

C = coeficiente de la siguiente tabla:

Taula de coeficiente C

Elemento resistente	Tipo de forjado	Coeficiente C		
		Aislado extremo interior		
Viguetas armadas	Con tabiques o muros	17	21	24
	Cubiertas	20	24	27
Viguetas pretensadas	Con tabiques o muros	19	23	26
	Cubiertas	22	26	29
Losas alveolares pretensadas	Con tabiques o muros	36	--	--
	Cubiertas	45	--	--

Para voladizos con tabiques o muros $c = 6$. En otros casos, $c = 9$.

Anexo 4

Tablas de aplicación de la EHE

Tabla 8.2.2 Clases generales de exposición relativas a la corrosión de armaduras

CLASE GENERAL DE EXPOSICIÓN		Designación	Tipo de proceso	DESCRIPCIÓN	EJEMPLOS
Clase	Subclase				
No agresiva	humedad alta	I	Ninguno	-Interiores de edificios, no sometidos a condensaciones. -Elementos de hormigón en masa.	-Interiores de edificios, protegidos de la intemperie.
		IIa	Corrosión de origen diferente de los cloruros	-Interiores sometidos a humedades relativas medias altas (> 65%) o a condensaciones -Exteriores en ausencia de cloruros, y expuestos a lluvia en zonas con precipitación media anual superior a 600 mm.	-Sótanos no ventilados. -Cimentaciones. -Tableros y pilas de puentes en zonas con precipitación media anual superior a 600 mm. -Elementos de hormigón en cubiertas de edificios.
	Normal	IIb	Corrosión de origen diferente de los cloruros	-Elementos enterrados o sumergidos. -Exteriores en ausencia de cloruros, sometidos a la acción del agua de lluvia, en zonas con precipitación media anual inferior a 600 mm.	-Construcciones exteriores protegidas de la lluvia. -Tableros y pilas de puentes, en zonas de precipitación media anual inferior a 600 mm. -Edificaciones en las proximidades de la costa.
Marina	aérea	IIIa	Corrosión por cloruros	-Elementos de estructuras marinas, por encima del nivel de pleamar. -Elemento exteriores de estructuras situadas en las proximidades de la línea costera (a menos de 5 km).	-Puentes en las proximidades de la costa. -Zonas aéreas de diques, pantales y otras obras de defensa litoral. -Instalaciones portuarias.
		IIIb	Corrosión por cloruros	-Elementos de estructuras marinas sumergidas permanentemente, por debajo del nivel mínimo de bajamar.	-Zonas sumergidas de diques, pantales y otras obras de defensa litoral. -Cimentaciones y zonas sumergidas de pilas de puentes en el mar.
	en zona de mareas	IIIc	Corrosión por cloruros	-Elementos de estructuras marinas situadas en la zona de carrera de mareas.	-Zonas situadas en el recorrido de marea de diques, pantales y otras obras de defensa litoral. -Zonas de pilas de puentes sobre el mar, situadas en el recorrido de marea.
Con cloruros de origen diferente del medio marino		IV	corrosión por cloruros	-Instalaciones no impermeabilizadas en contacto con agua que presente un contenido elevado de cloruros, no relacionados con el ambiente marino. -Superficies expuestas a sales de deshielo no impermeabilizadas.	-Piscinas. -Pilas de pasos superiores o pasarelas en zonas de nieve. -Estaciones de tratamiento de agua.

Tabla 8.2.3.a Clases específicas de exposición relativas a otros procesos de deterioro distintos de la corrosión

CLASE ESPECÍFICA DE EXPOSICIÓN				DESCRIPCIÓN	EJEMPLOS
Clase	Subclase	Designación	Tipo de proceso		
Química agresiva	Débil	Qa	Ataque químico	-Elementos situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad lenta (véase la tabla 8.2.3.b).	-Instalaciones industriales, con sustancias débilmente agresivas según la tabla 8.2.3.b. -Construcciones en proximidades de áreas industriales, con agresividad débil según la tabla 8.2.3.b.
	Media	Qb	Ataque químico	-Elementos en contacto con agua de mar. -Elementos situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad media (véase la tabla 8.2.3.b).	-Dolos, bloques y otros elementos para diques. -Estructuras marinas, en general. -Instalaciones industriales con sustancias de agresividad media según la tabla 8.2.3.b. -Construcciones en proximidades de áreas industriales, con agresividad media según la tabla 8.2.3b. -Instalaciones de conducción y tratamiento de aguas residuales con sustancias de agresividad media según la tabla 8.2.3.b.
	Fuerte	Qc	Ataque químico	-Elementos situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad rápida (véase la tabla 8.2.3.b).	-Instalaciones industriales, con sustancias de agresividad alta de acuerdo con la tabla 8.2.3.b. -Instalaciones de conducción y tratamiento de aguas residuales, con sustancias de agresividad alta de acuerdo con la tabla 8.2.3.b.
Con heladas	Sin sales fundentes	H	Ataque hielo-deshielo	-Elementos situados en contacto frecuente con agua, o zonas con humedad relativa media ambiental en invierno superior al 75%. Y que tengan una probabilidad anual superior al 50% de alcanzar al menos una vez temperaturas por debajo de -5°C.	-Construcciones en zonas de alta montaña. -Estaciones invernales.
	Con sales fundentes	F	Ataque por sales fundentes	-Elementos destinados al tráfico de vehículos o peatones en zonas con más de 5 nevadas anuales o con valor medio de la temperatura mínima en los meses de invierno inferior a 0°C.	-Tableros de puentes o pasarelas en zonas de alta montaña.
Erosión		E	Abrasión, cavitación	-Elementos sometidos a desgaste superficial -Elementos de estructuras hidráulicas en los que la cota piezométrica pueda descender por debajo de la presión de vapor del agua.	-Pilas de puente en cauces muy torrenciales. -Elementos de diques, pantales y otras obras de defensa fluvial que se encuentren sometidos a fuertes oleajes. -Pavimentos de hormigón. -Tuberías de alta presión.

Tabla 8.2.3.b Clasificación de la agresividad química

Tipo de medio agresivo	Parámetros	Tipo de exposición		
		Qa	Qb	Qc
		Ataque débil	Ataque medio	Ataque fuerte
Agua	Valor del pH	6,5 - 5,5	5,5 - 4,5	< 4,5
	CO ₂ agresivo (mg CO ₂ /l)	15 - 40	40 - 100	> 100
	Ion amonio (mg NH ₄ ⁺ / l)	15 - 30	30 - 60	> 60
	Ion magnesio (mg Mg ²⁺ / l)	300 - 1000	1000 - 3000	> 3000
	Ion sulfato (mg SO ₄ ²⁻ / l)	200 - 600	600 - 3000	> 3000
	Residuo seco (mg / l)	> 150	50-150	< 50
Suelo	Grado de acidez Baumann-Gully	> 20	*	*
	Ion sulfato (mg SO ₄ ²⁻ / kg de suelo seco)	2000 - 3000	3000-12000	> 12000

* Estas condiciones no se dan en la práctica.

Tabla 37.3.2.a Máxima relación agua/cemento y mínimo contenido de cemento

Parámetro de dosificación	Tipo de hormigón	Clase de exposición												
		I	Ila	IIb	IIIa	IIIb	IIIc	IV	Qa	Qb	Qc	H	F	E
Máxima relación a/c	Masa	0,65	-	-	-	-	-	-	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,50
	Armado	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,50	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,50
	Pretensado	0,60	0,60	0,55	0,50	0,45	0,45	0,45	0,50	0,45	0,45	0,55	0,50	0,50
Mínimo contenido de cemento (kg/m ³)	Masa	200	-	-	-	-	-	-	275	300	325	275	300	275
	Armado	250	275	300	300	325	350	325	325	350	350	300	325	300
	Pretensado	275	300	300	300	325	350	325	325	350	350	300	325	300

Tabla 37.2.4 Recubrimientos mínimos

Resistencia característica del hormigón [N/mm ²]	Tipo de elemento	Recubrimiento mínimo [mm] según la clase de exposición										
		I	Ila	IIb	IIIa	IIIb	IIIc	IV	Qa	Qb	Qc	
$25 \leq f_{ck} < 40$	General	20	25	30	35	35	40	35	40	*	*	
	Elementos prefabricados y láminas	15	20	25	30	30	35	30	35	*	*	
$f_{ck} \geq 40$	General	15	20	25	30	30	35	30	35	*	*	
	Elementos prefabricados y láminas	15	20	25	25	25	30	25	30	*	*	

Conviene recordar que los recubrimientos de proyecto son los denominados “nominales”. Éstos son los mínimos más un valor de:

- 0 mm para elementos prefabricados con control de producción intenso.
- 5 mm para elementos in situ con control de ejecución intenso.
- 10 mm para el resto de casos.

ITeC

**Institut de
Tecnologia de la Construcció
de Catalunya**

Wellington 19
E-08018 Barcelona
tel. 933 09 34 04
fax 933 00 48 52
e-mail: comercial@itec.es
http: [//www.itec.es](http://www.itec.es)



ACREDITADO POR ENAC