

REAL DECRETO por el que se aprueba la



**“INSTRUCCIÓN PARA EL PROYECTO  
Y LA EJECUCIÓN DE FORJADOS  
UNIDIRECCIONALES DE HORMIGÓN  
ESTRUCTURAL REALIZADOS CON  
ELEMENTOS PREFABRICADOS  
(EFHE)”**

*(Actualizado a Octubre/2004)*

Servicio de Normativa Técnica, Supervisión y Control  
Dirección General de Arquitectura y Vivienda  
Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio



**Comunidad de Madrid**

# ÍNDICE

## REAL DECRETO 642/2002, de 5 de julio, por el que se aprueba la Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón estructural realizados con elementos prefabricados (EFHE)@.

Art. 1. Aprobación de la Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón estructural realizados con elementos prefabricados (EFHE)@.....	28951
Art. 2. Ámbito de aplicación .....	28951
<b>DISPOSICIÓN ADICIONAL ÚNICA. PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES .....</b>	<b>28951</b>
<b>DISPOSICIÓN TRANSITORIA ÚNICA. APLICACIÓN A PROYECTOS Y OBRAS .....</b>	<b>28951</b>
<b>DISPOSICIÓN DEROGATORIA ÚNICA. CLAÚSULA DEROGATORIA.....</b>	<b>28952</b>
<b>DISPOSICIONES FINALES .....</b>	<b>28952</b>
Disposición final primera. Facultad de desarrollo .....	28952
Disposición final segunda. Entrada en vigor.....	28952
<b>CAPÍTULO I.- INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>28953</b>
Art. 1.1 Campo de aplicación y consideraciones previas.....	28953
Art. 2.1 Definiciones .....	28953
Art. 3.1 Documentos de proyecto y ejecución.....	28954
Art. 4.1 Exigencias administrativas.....	28955
<b>CAPÍTULO II.- BASES DE CÁLCULO Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL .....</b>	<b>28956</b>
Art. 5.1 Requisitos esenciales y bases de cálculo.....	28956
Art. 6.1 Acciones .....	28956
Art. 7.1 Análisis estructural.....	28957
Art. 8.1 Fuerza de pretensado y pérdidas de fuerza.....	28957
<b>CAPÍTULO III.- PROPIEDADES TECNOLÓGICAS DE LOS MATERIALES .....</b>	<b>28958</b>
Art. 9.1 Generalidades.....	28958
Art. 10.1 Viguetas y losas alveolares pretensadas .....	28958
Art. 11.1 Piezas de entrevigado .....	28959
Art. 12.1 Hormigón vertido en obra.....	28960
Art. 13.1 Durabilidad.....	28960
<b>CAPÍTULO IV.- CÁLCULOS RELATIVOS A LOS ESTADOS LÍMITE.....</b>	<b>28962</b>
Art. 14.1 Estados Límite Últimos .....	28962
Art. 15.1 Estados Límite de Servicio.....	28968
Art. 16.1 Comprobaciones previas al hormigonado en obra.....	28970
<b>CAPÍTULO V.- CONDICIONES GENERALES Y DISPOSICIONES CONSTRUCTIVAS DE LOS FORJADOS .....</b>	<b>28972</b>
Art. 17.1 Condiciones geométricas.....	28972
Art. 18.1 Armado longitudinal .....	28973
Art. 19.1 Armado transversal.....	28974
Art. 20.1 Armado de reparto.....	28974
Art. 21.1 Enlaces y apoyos.....	28975
Art. 22.1 Armado superior .....	28979
Art. 23.1 Enfrentamiento de nervios.....	28980
<b>CAPÍTULO VI.- EJECUCIÓN.....</b>	<b>28982</b>
Art. 24.1 Transporte, descarga y manipulación .....	28982
Art. 25.1 Acopio en obra.....	28982
Art. 26.1 Apuntalado.....	28982
Art. 27.1 Colocación de las viguetas y piezas de entrevigado.....	28982
Art. 28.1 Colocación de las armaduras.....	28982
Art. 29.1 Hormigonado en obra .....	28982
Art. 30.1 Curado del hormigón .....	28983
Art. 31.1 Desapuntalado.....	28983

Art. 32.1	Realización de tabiques divisorios rígidos .....	28983
<b>CAPÍTULO VII.- CONTROL.....</b>		<b>28983</b>
Art. 33.1	Bases generales del control de calidad.....	28983
Art. 34.1	Control de recepción de elementos resistentes y piezas de entrevigado.....	28983
Art. 35.1	Control del hormigón y armaduras colocadas en obra.....	28985
Art. 36.1	Control de la ejecución .....	28985
<b>ANEJOS .....</b>		<b>28986</b>
Anejo 1.-	Normas UNE referenciadas .....	28986
Anejo 2.-	Reparto transversal de cargas lineales y puntuales en forjados de viguetas .....	28986
Anejo 3.-	Reparto transversal de cargas lineales y puntuales en forjados de losas alveoladas pretensadas .....	28987
Anejo 4.-	Coacciones no deseadas en losas alveolares pretensadas. Armadura mínima en apoyos simples.....	28991
Anejo 5.-	Ensayos de resistencia a esfuerzo cortante en forjados de viguetas sin armadura Transversal.....	28993
Anejo 6.-	Ensayos de resistencia a esfuerzo rasante en forjados sin armadura de cosido.....	28985



# INSTRUCCIÓN PARA EL PROYECTO Y LA EJECUCIÓN DE FORJADOS UNIDIRECCIONALES DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL REALIZADOS CON ELEMENTOS PREFABRICADOS (EFHE)

(Actualizado a Octubre/2004)

Servicio de Normativa Técnica, Supervisión y Control  
Dirección General de Arquitectura y Vivienda  
COMUNIDAD DE MADRID

## O Aclaración de los compiladores:

Esta Instrucción, entrará en vigor el día seis de febrero de 2003 (06-02-2003).

Su ámbito de aplicación comprende todas las obras que se ejecuten con los tipos de forjado que define su denominación y contenido.

En cuanto a su aplicación a proyectos y obras, en el período transitorio, cabe indicar que:

\* Podrán regirse por la EF-96, los Proyectos que reúnan las siguientes condiciones:

a) Edificación sometida al Real Decreto Legislativo 2/2000, de 16 de junio, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas:

11. Que el trámite de su redacción o contratación se realice antes del seis de febrero de 2003 (06/02/2003)

[Por este Servicio se entiende y recomienda que:

- cuando el proyecto requiera supervisión técnica, el requisito se concreta en que la fecha de supervisión sea anterior a la señalada del 06/02/2003.

- si no requiere supervisión técnica, que la fecha de adjudicación de la contratación sea anterior a la señalada del 06/02/2003].

21. Que las obras se inicien antes del seis de febrero de 2004/ (06/02/2004).

b) El resto de edificación:

11. Que el visado del proyecto se realice con anterioridad al 6 de febrero de 2003 (06/02/2003).

21. Que las obras se inicien antes del seis de febrero de 2004 (06/02/2004).

\* En el resto de los casos, será obligatoria la aplicación de la EFHE.

## REAL DECRETO 642/2002, de 5 de julio, por el que se aprueba la "Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón estructural realizados con elementos prefabricados (EFHE)".

Publicación: B.O.E., nº 187, de 6 de agosto de 2002, págs. 28951 a 28997.

Entrada en vigor: 6 de febrero de 2003.

## MINISTERIO DE FOMENTO

**15887** *REAL DECRETO 642/2002, de 5 de julio, por el que se aprueba la «Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón estructural realizados con elementos prefabricados (EFHE)».*

La «Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón armado o pretensado (EF-96)», fue aprobada por Real Decreto 2608/1996, de 20 de diciembre.

La Comisión Permanente del Hormigón, de carácter interministerial, creada por Decreto 2987/1968, de 20 de septiembre, y reestructurada por Real Decreto 1177/1992, de 2 de octubre, ha estimado necesario proceder a la revisión de la citada Instrucción, y ello con una doble finalidad; por una parte, para adecuarla a lo prescrito en la Instrucción de Hormigón Estructural, aprobada por Real Decreto 2661/1998, de 11 de diciembre, y, por otra, para actualizarla en relación a las nuevas tecnologías constructivas y a la experiencia adquirida en el periodo de vigencia de la EF-96.

En su virtud, a iniciativa de la Comisión Permanente del Hormigón, cumplidos los trámites establecidos en

la Ley 50/1997, del Gobierno, y en el Real Decreto 1337/1999, de 31 de julio, por el que se regula la remisión de información en materia de normas y reglamentaciones técnicas y reglamentos relativos a los servicios de la sociedad de la información, y la Directiva 98/34/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de junio, modificada por la Directiva 98/48/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de julio, a propuesta del Ministro de Fomento y previa deliberación del Consejo de Ministros en su reunión del día 5 de julio de 2002,

### DISPONGO:

**Artículo 1.** *Aprobación de la «Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón estructural realizados con elementos prefabricados (EFHE)».*

Se aprueba la «Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón estructural realizados con elementos prefabricados (EFHE)», que figura como anejo a este Real Decreto.

**Artículo 2.** *Ámbito de aplicación.*

El ámbito de aplicación de la referida Instrucción comprende con carácter obligatorio, a todas las obras, públicas o privadas, en las que se ejecuten tipos de forjados incluidos en el anejo a este Real Decreto.

**Disposición adicional única.** *Prevención de riesgos laborales.*

En lo relativo a los aspectos de prevención de riesgos laborales que deban tenerse en cuenta en el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón estructural realizados con elementos prefabricados, se estará a lo dispuesto en la normativa específica sobre la materia, y, en particular, a lo establecido en el Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.

**Disposición transitoria única.** *Aplicación a proyectos y obras.*

Los proyectos para los que, en el ámbito de las Administraciones públicas, se hubiese iniciado la tramitación para su redacción o contratación y los visados por los Colegios Profesionales antes de la fecha de entrada en vigor de este Real Decreto, podrán regirse por la Instrucción sobre forjados vigente en el momento del inicio

de la referida tramitación o de visado, siempre que las obras se inicien antes de un año desde dicha entrada en vigor. Si las obras no se inician en el citado plazo, los proyectos deberán ser modificados de acuerdo con los preceptos de la Instrucción que se aprueba por este Real Decreto.

Disposición derogatoria única. *Cláusula derogatoria.*

A la entrada en vigor de este Real Decreto, queda derogado el Real Decreto 2608/1996, de 20 de diciembre, por el que se aprueba la «Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón armado o pretensado (EF-96)».

Disposición final primera. *Facultad de desarrollo.*

Se faculta al Ministro de Fomento para dictar las disposiciones necesarias para el desarrollo y aplicación de lo dispuesto en este Real Decreto.

Disposición final segunda. *Entrada en vigor.*

Este Real Decreto entrará en vigor a los seis meses de su publicación en el «Boletín Oficial del Estado».

Dado en Madrid a 5 de julio de 2002.

JUAN CARLOS R.

El Ministro de Fomento,  
FRANCISCO ÁLVAREZ-CASCOS FERNÁNDEZ

## ANEJO

### CAPÍTULO I

#### Introducción

##### Artículo 1.º *Campo de aplicación y consideraciones previas.*

Esta Instrucción es aplicable a los forjados unidireccionales, constituidos por elementos superficiales planos con nervios sometidos a flexión esencialmente en una dirección, que cumplan las condiciones siguientes:

En forjados de viguetas:

- a) el canto total no excede de 50 cm;
- b) la luz de cada tramo no excede de 10 m;
- c) la separación entre ejes de nervios no excede de 100 cm.

En forjados de losas alveolares pretensadas:

- a) el canto de la losa prefabricada no excede de 50 cm;
- b) la luz de cada tramo no excede de 20 m;
- c) la anchura de los elementos resistentes no supera los 140 cm para losas sin armadura de reparto, ni 250 cm para aquellas que dispongan de esta armadura.

Esta Instrucción comprende los forjados realizados con elementos constituidos por viguetas armadas o pretensadas, losas alveolares pretensadas, prefabricados en instalación industrial fija exterior a la obra, que soportan cargas habituales en el campo de la edificación. Cuando existan cargas estáticas uniformes y puntuales y cargas dinámicas que excedan de las indicadas en la normativa vigente sobre acciones en la edificación, será necesario un estudio complementario en el que se verifique el cumplimiento de los requisitos establecidos en la Instrucción de Hormigón Estructural EHE, en lo sucesivo Instrucción EHE.

Los forjados constituidos por elementos (viguetas o losas) ejecutados en obra, así como los forjados constituidos por otros elementos prefabricados diferentes de los anteriores no están incluidos en esta Instrucción, debiendo por tanto proyectarse y construirse de acuerdo con la Instrucción EHE.

Esta Instrucción supone que el proyecto, construcción y control de los forjados que constituyen su campo de aplicación serán llevados a cabo por técnicos y operarios con los conocimientos necesarios y la experiencia suficiente. Además, dichas estructuras estarán destinadas al uso para el que han sido construidas y serán adecuadamente conservadas.

El Autor del Proyecto y la Dirección Facultativa, están obligados a conocer y tener en cuenta las prescripciones de la presente Instrucción, pero, en uso de sus atribuciones, pueden, bajo su personal responsabilidad y previa justificación de que no se reducen los niveles de prestaciones, emplear sistemas de cálculo, disposiciones constructivas, etc., diferentes.

En el ámbito de esta Instrucción sólo podrán utilizarse productos de construcción legalmente comercializados en países que sean miembros de la Unión Europea o bien que sean parte en el Acuerdo sobre el Espacio Económico Europeo, y estarán sujetos a lo previsto en el Real Decreto 1630/1992, de 29 de diciembre (modificado por Real Decreto 1328/1995, de 28 de julio), por el que se dictan disposiciones para la libre circulación de productos de construcción, en aplicación de la Directiva 89/106/CEE y, en particular, en lo referente a los procedimientos especiales de reconocimiento, los productos estarán sujetos a lo dispuesto en el artículo 9 del citado Real Decreto.

Esta Instrucción exige que los productos de construcción y elementos prefabricados incluidos en su ámbito satisfagan un conjunto de especificaciones técnicas que se establecen, en general, por referencia a Instrucciones, reglamentos, normas UNE-EN o UNE, etc. La finalidad de tal exigencia es la de garantizar la idoneidad de los productos para el uso al que se destinan.

Dichos productos y elementos prefabricados se suministrarán a las obras acompañados, al menos, de la documentación que se establece en esta Instrucción, y que deberá ser modificada a medida que sea operativa la obligatoriedad del mercado CE para los productos y elementos mencionados.

##### Artículo 2.º *Definiciones.*

###### 2.1 Elementos constitutivos de un forjado.

- **Vigueta:** elemento longitudinal resistente, prefabricado en instalación fija exterior a la obra, diseñado para soportar cargas producidas en forjados de pisos o de cubiertas. Pueden ser armadas o pretensadas.

- Vigüeta autorresistente: vigüeta capaz de resistir por sí sola, en un forjado, sin sopandas intermedias y sin la colaboración del hormigón vertido en obra, la totalidad de los esfuerzos a que habrá de estar sometido el forjado.
- Losa alveolar pretensada: elemento superficial plano de hormigón pretensado, prefabricado en instalación fija exterior a la obra, aligerado mediante alveolos longitudinales y diseñado para soportar cargas producidas en forjados. Sus juntas laterales están especialmente diseñadas para que, una vez rellenas de hormigón, puedan transmitir esfuerzos cortantes a las losas adyacentes.
- Pieza de entrevigado: elemento prefabricado de cerámica, hormigón, poliestireno expandido u otros materiales idóneos, con función aligerante o colaborante, destinado a formar parte, junto con las vigüetas, la losa superior hormigonada en obra y las armaduras de obra, del conjunto resistente de un forjado.
- Losa superior de hormigón: elemento formado por hormigón vertido en obra y armaduras, destinado a repartir las distintas cargas aplicadas sobre el forjado y otras funciones adicionales que le son requeridas (acción diafragma, arriostamiento y atado, resistencia mediante la formación de sección compuesta, etc.).

## 2.2 Forjado de vigüetas.

Sistema constructivo constituido por:

- a) vigüetas prefabricadas de hormigón u hormigón y cerámica, armadas o pretensadas,
- b) piezas de entrevigado cuya función puede ser de aligeramiento o también colaborante en la resistencia,
- c) armaduras de obra, longitudinales, transversales y de reparto, colocadas previamente al hormigonado, y
- d) hormigón vertido en obra para relleno de nervios y formación de la losa superior del forjado.

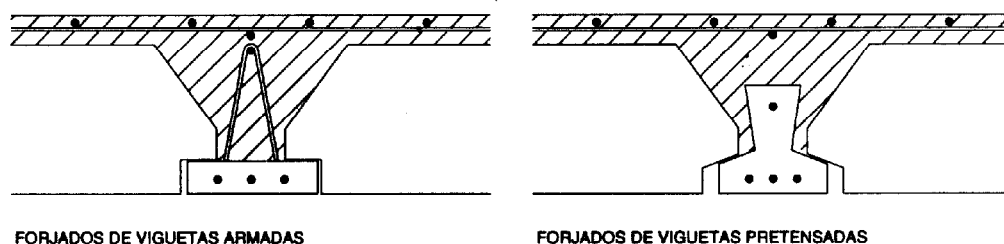


Figura 2.2 Tipos usuales de forjados de vigüetas

## 2.3 Forjado de losas alveolares pretensadas.

Sistema constructivo constituido por:

- a) losas alveolares prefabricadas de hormigón pretensado,
- b) armadura colocada en obra, en su caso, y
- c) hormigón vertido en obra para relleno de juntas laterales entre losas y formación de la losa superior. Excepto cuando existan acciones laterales importantes, puede prescindirse de la losa superior hormigonada en obra siempre que se justifique adecuadamente el cumplimiento de los estados límite últimos y de servicio.

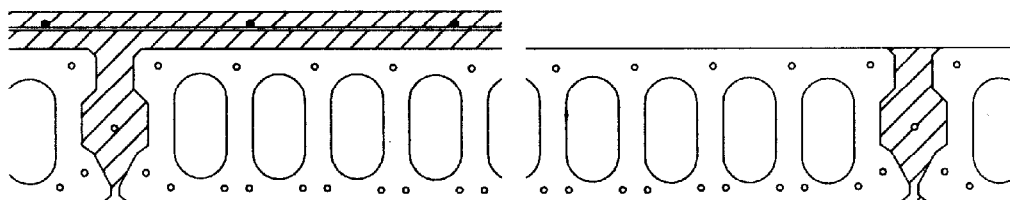


Figura 2.3 Tipos usuales de forjados de losas alveolares pretensadas

## Artículo 3.º Documentos de proyecto y ejecución.

Los distintos documentos que en su conjunto constituyan un anteproyecto, estudio o proyecto de ejecución de cualquier clase deberán estar definidos de tal forma que otro facultativo competente distinto del autor de aquellos, los pueda interpretar y pueda dirigir la obra con arreglo a los mismos.



### 3.1 Documentación del forjado para su ejecución.

Con independencia del contenido del proyecto de ejecución, antes de la ejecución de la obra deberá disponerse, al menos, la información siguiente.

En la memoria:

- a) las acciones consideradas en el cálculo, especificando al menos las sobrecargas previstas del forjado y la carga total,
- b) los coeficientes parciales de seguridad adoptados y los niveles de control establecidos,
- c) las características del hormigón vertido en obra y de las armaduras de acero,
- d) las solicitaciones más desfavorables en cada tipo de nervio del forjado,
- e) la indicación expresa, en su caso, de aquellos elementos componentes de un sistema de forjado que estén en posesión de un distintivo oficialmente reconocido, y
- f) en su caso, la necesidad de exigencia de los certificados de garantía de la capacidad a cortante o a rasante del forjado, firmados por persona física, y a los que se hace referencia en 14.2.1. y 14.3., respectivamente. En el caso de elementos resistentes prefabricados en posesión de un distintivo oficialmente reconocido, los certificados de garantía a los que hace referencia este punto, podrán sustituirse por acreditación escrita en vigor de estar en posesión del citado distintivo.

En los planos:

- g) los planos de ejecución del forjado, firmados, o en su caso conformados, por la Dirección Facultativa. Si los planos del forjado son realizados por el Proyectista o por la Dirección Facultativa, como proyectista, llevarán la firma correspondiente. Si el autor del proyecto, no fuera ninguno de los anteriores (consultor, prefabricador, etc.) los planos llevarán la firma de la persona física que los haya realizado y ostentarán el conforme de la Dirección Facultativa,
- h) el canto total del forjado y el espesor de la losa superior hormigonada en obra,
- i) las dimensiones y situación de los huecos para el paso de instalaciones si tienen trascendencia estructural, indicando la forma de resolverlos,
- j) el tipo de elemento que debe colocarse en cada zona, indicando, si procede, el espesor de la losa superior hormigonada en obra. En el caso de forjados de viguetas se indicará, además, las separaciones entre elementos, la forma, las dimensiones y el material de las piezas de entrevigado,
- k) la longitud, la posición y los diámetros de las armaduras que deben colocarse en obra,
- l) los apuntalados necesarios en cada crujía y, en su caso, la separación máxima entre sopandas, y
- m) los detalles de los enlaces del forjado con la estructura principal y de las zonas macizadas.

### 3.2 Documentación final de obra.

La documentación final de obra incluirá un apartado referente al forjado con la información siguiente:

- a) Copia de las fichas de características técnicas del forjado utilizado, en las que figure el sellado de la Autorización de Uso concedida,
- b) Planos actualizados de los forjados realmente ejecutados, en los que se reflejen las modificaciones introducidas durante la ejecución, si las hubiere,
- c) Si las piezas de entrevigado son cerámicas, resultados del ensayo de dilatación potencial emitido como máximo seis meses antes de la fecha de empleo, en un laboratorio acreditado,
- d) Si las piezas de entrevigado son de poliestireno, certificado de su comportamiento de reacción al fuego,
- e) Certificado acreditativo de estar en posesión de un distintivo oficialmente reconocido o, en su defecto, justificación documental firmada por persona física del control interno de fabricación de los elementos resistentes del forjado, viguetas y/o losas, aportada por el fabricante y que contendrá como mínimo:
  - 1) Resultados del control interno del hormigón del último mes.
  - 2) Resultados del control interno del producto acabado (flexión y cortante) de los últimos seis meses.
- f) Resultados del control de recepción,
- g) Resultados del control de ejecución del forjado realizado, y
- h) Certificado, emitido por el fabricante y firmado por persona física, de los elementos constituyentes del forjado, indicando en su caso la conformidad de lo suministrado con la Autorización de Uso.

### Artículo 4.º Exigencias administrativas.

El fabricante de elementos prefabricados con función resistente para forjados debe poseer la Autorización de Uso para sus sistemas, concedida por la autoridad competente, de acuerdo con las disposiciones específicas sobre la materia, sobre una Ficha de características técnicas, que contiene datos relevantes para el cálculo, la ejecución y el control del forjado.

## CAPÍTULO II

### Bases de cálculo y análisis estructural

#### Artículo 5.º *Requisitos esenciales y bases de cálculo.*

Un forjado debe ser proyectado y construido para que, con una seguridad aceptable, sea capaz de soportar tanto las acciones que lo puedan solicitar durante su construcción y su vida de servicio, como la agresividad del ambiente.

Todo forjado debe cumplir el requisito esencial de resistencia mecánica y estabilidad. Además, debe cumplir los requisitos de seguridad en caso de incendio, higiene, salud y medio ambiente, seguridad de uso, protección frente al ruido y aislamiento térmico que le sean aplicables, en su caso.

#### 5.1 Criterios de seguridad y situaciones de proyecto.

La seguridad de una estructura frente a un riesgo puede ser expresada en términos de probabilidad global de fallo, que está ligada a un determinado índice de fiabilidad.

En esta Instrucción, se asegura la fiabilidad requerida adoptando el método de los Estados Límite. Este método permite tener en cuenta de manera sencilla el carácter aleatorio de las variables de sollicitación, de resistencia y dimensionales que intervienen en el cálculo. El valor de cálculo de una variable se obtiene a partir de su principal valor representativo, ponderándolo mediante su correspondiente coeficiente parcial de seguridad.

Los coeficientes parciales de seguridad no tienen en cuenta la influencia de posibles errores humanos groseros. Para prevenir estos fallos deben utilizarse mecanismos adecuados de gestión de la calidad que abarquen las actividades relacionadas con el proyecto, la ejecución, el uso y la conservación de la estructura.

Las situaciones de proyecto que deben considerarse son las que se indican a continuación:

- a) situaciones permanentes, que corresponden a las condiciones de uso normal del forjado,
- b) situaciones transitorias, como son las que se producen durante la construcción o reparación del forjado, y
- c) situaciones accidentales, que corresponden a condiciones excepcionales aplicables al forjado.

#### 5.2 El método de los Estados Límite.

Para el cálculo de un forjado se empleará el método de los Estados Límite. A los efectos de esta Instrucción, los Estados Límite se definen, clasifican y comprueban conforme a lo establecido en el apartado 8.1. de la Instrucción EHE.

#### 5.3 Bases de cálculo orientadas a la durabilidad de los forjados.

Antes de comenzar el proyecto, deberá identificarse el tipo de ambiente que defina la agresividad a la que va a estar sometido cada uno de los elementos que constituyen el forjado, de acuerdo con lo establecido en el apartado 8.2 de la Instrucción EHE. Se analizarán independientemente las clases de exposición correspondientes a los elementos prefabricados y, en su caso, a la losa superior de hormigón vertido en obra.

El tipo de ambiente viene definido por la combinación de:

- a) una clase general de exposición frente a corrosión de armaduras, de acuerdo con 5.3.1, y
- b) las clases específicas de exposición, en su caso, de acuerdo con 5.3.2.

#### 5.3.1 Clases generales de exposición ambiental en relación con la corrosión de las armaduras.

Todo elemento de un forjado estará sometido a una única clase general de exposición, de acuerdo con los criterios establecidos en el apartado 8.2.2 de la Instrucción EHE.

#### 5.3.2 Clases específicas de exposición en relación con otros procesos de degradación distintos de la corrosión.

Todo elemento de un forjado puede estar sometido a una, varias o ninguna clases específicas de exposición, de acuerdo con el apartado 8.2.3 de la Instrucción EHE.

En el caso de forjados de cubierta no impermeabilizados de construcciones situadas en zonas de heladas, según el apartado 8.2.3 de la Instrucción EHE, la losa superior de hormigón vertido en obra, o en el caso de no existir dicha losa, las superficies superiores de los elementos prefabricados estarán sometidas a una clase específica de exposición H.

#### Artículo 6.º *Acciones.*

Las acciones características se establecerán en el proyecto de acuerdo con los valores especificados en la normativa vigente sobre acciones en la edificación. Será necesario considerar además las acciones sísmicas en los casos que establezca la Norma de Construcción Sismorresistente vigente.

Cuando tengan influencia apreciable, se considerarán las cargas derivadas del proceso de ejecución del edificio, en particular las procedentes del apuntalado y desapuntalado de las plantas superiores que, en ocasiones, pueden producir la combinación de acciones más desfavorable.

Para las comprobaciones de los Estados Límite Últimos y de Servicio se obtendrán las acciones de cálculo según se establece en el artículo 12.º de la Instrucción EHE, combinándose como se indica en el artículo 13.º de dicha Instrucción.

En el caso de que los elementos resistentes prefabricados posean un distintivo oficialmente reconocido, los coeficientes parciales de seguridad de las acciones para las comprobaciones de los Estados Límite Últimos serán los siguientes:

- a) momentos positivos:  $\gamma_g = 1,35$  y  $\gamma_q = 1,50$ ,
- b) momentos negativos: los correspondientes de la Instrucción EHE según su nivel de control,
- c) esfuerzos cortante y rasante en forjados con viguetas autorresistentes sin continuidad y en forjados con losas alveolares pretensadas:  $\gamma_g = 1,35$  y  $\gamma_q = 1,50$ , y
- d) esfuerzos cortante y rasante en forjados con viguetas autorresistentes con continuidad y en forjados con viguetas no autorresistentes: se aplicará una disminución de 0,05 respecto a los coeficientes de la Instrucción EHE, pero sin permitir valores de  $\gamma_g$  inferiores a 1,35 ni de  $\gamma_q$  inferiores a 1,50.

Para poder aplicar los coeficientes de seguridad indicados en este artículo deberá figurar específica y obligatoriamente en los partes o informes de inspección por lote correspondientes al nivel de control de ejecución de que se trate (uno para control reducido, dos para control normal y tres para control intenso) la revisión en obra de los siguientes aspectos:

- a) las condiciones de apoyo y entrega de las viguetas y de las losas alveolares pretensadas,
- b) el canto total del forjado, tipo y geometría de la bovedilla y de la pieza resistente,
- c) la separación entre sopandas y proceso de apuntalado,
- d) la calidad, diámetro y posición de la armadura de negativos,
- e) el estado de limpieza de la superficie de contacto a rasante, y
- f) el vertido, compactación y curado del hormigón.

#### Artículo 7.º *Análisis estructural.*

La luz de cálculo de cada tramo de forjado se medirá, en general, entre ejes de los elementos de apoyo. Cuando el forjado se apoye en vigas planas o mixtas no centradas con los soportes, se tomará como eje el que pasa por los centros de éstos. Cuando el canto del forjado sea menor que el espesor del muro en que se sustenta, podrá tomarse como luz de cálculo la luz libre más el canto del forjado.

El cálculo de solicitaciones se efectuará, en general, tanto para los Estados Límite Últimos como para los de Servicio, de acuerdo con los métodos de cálculo lineal en la hipótesis de viga continua con inercia constante, apoyada en las vigas o los muros sobre los que descansa considerando las posiciones más desfavorables de las sobrecargas. En las solicitaciones de cálculo del forjado deben tenerse en cuenta los efectos provenientes de la acción horizontal sobre el edificio.

Para el análisis de los Estados Límite Últimos pueden considerarse también leyes de momentos flectores redistribuidas hasta en un 15 % con relación a las deducidas del análisis lineal, como recoge el apartado 21.4 de la Instrucción EHE. Es posible también considerar como leyes envolventes de momentos flectores las que resulten de igualar, en valor absoluto, los momentos en los apoyos y en el vano. Este procedimiento, avalado por la experiencia, no requiere el planteamiento de alternancias de la sobrecarga. Las leyes de esfuerzos cortantes se podrán deducir, en este caso, a partir de los momentos negativos máximos.

En los apoyos sin continuidad se considerará un momento flector negativo no menor que 1/4 del momento flector positivo del tramo contiguo, suponiendo momento nulo en dicho apoyo. En el caso de losas alveolares pretensadas sin continuidad y con apoyo directo se tendrá en consideración la posible existencia de coacciones no deseadas, según el Anejo 4.

Todos los vanos deberán resistir, como mínimo, un momento positivo igual a la mitad de su momento isostático.

En el Anejo 2 se dan criterios para considerar el reparto transversal de cargas lineales y puntuales en forjados de viguetas y en el Anejo 3 se proporciona un método de cálculo que se puede utilizar para el reparto transversal de cargas lineales y puntuales en losas alveolares pretensadas.

#### Artículo 8.º *Fuerza de pretensado y pérdidas de fuerza.*

La fuerza de pretensado, tras la transferencia, será igual a la inicial menos la suma de las pérdidas originadas por:

- a) la penetración de cuñas,
- b) la relajación de la armadura activa a temperatura ambiente hasta la transferencia,

- c) la relajación adicional de la armadura activa por el proceso de curado térmico, en su caso,
- d) la dilatación térmica de la armadura activa por el proceso de curado térmico,
- e) la retracción del hormigón hasta la transferencia, y
- f) el acortamiento elástico instantáneo al transferir.

En las piezas, las tensiones finales que se requieren para el análisis de los forjados en Estados Límite Últimos y de Servicio incluirán, además, las pérdidas por:

- g) la relajación de la armadura activa posterior a la transferencia,
- h) la retracción del hormigón posterior a la transferencia, y
- i) la fluencia del hormigón.

Después de la transferencia, las viguetas y losas alveolares pretensadas no presentarán tracciones mayores que la resistencia a tracción del hormigón  $f_{ct,j}$ , ni compresiones mayores que el 60 % de la resistencia a compresión  $f_{cj}$ , ambas en valores representativos a la edad  $j$  a la que se realiza la transferencia de la fuerza de pretensado (Figura 8).

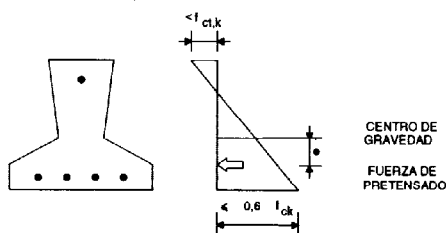


Figura 8. Tensiones después de la transferencia

Las pérdidas totales se justificarán debidamente.

### CAPÍTULO III

#### Propiedades tecnológicas de los materiales

##### Artículo 9.º Generalidades.

Los materiales considerados en el proyecto de los forjados y empleados en su ejecución, deberán cumplir con carácter general todas las especificaciones establecidas para ellos, en su caso, en la Instrucción EHE, además de las prescripciones específicas recogidas en los artículos siguientes.

##### Artículo 10.º Viguetas y losas alveolares pretensadas.

###### 10.1 Armaduras pasivas.

Las armaduras pasivas de las viguetas y losas alveolares pretensadas cumplirán las condiciones especificadas en el artículo 31.º de la Instrucción EHE.

La distancia libre, horizontal y vertical, entre dos barras aisladas consecutivas, será igual o mayor que el mayor de los tres valores siguientes:

- a) 15 mm;
- b) el diámetro de la mayor;
- c) 1,25 veces el tamaño máximo del árido.

En el caso de grupos de barras se cumplirá lo que prescribe el apartado 66.4.2 de la Instrucción EHE.

A los efectos de un correcto hormigonado de los elementos prefabricados debe entenderse por recubrimiento la separación de toda superficie límite de hormigonado, y a los efectos de protección de armaduras aquellas superficies que lo sean de modo definitivo (Figura 10.1).

Los recubrimientos de las armaduras respecto a las superficies que lo sean de modo definitivo, cumplirán las prescripciones establecidas en el artículo 13.º, al objeto de conseguir una adecuada durabilidad. Cuando se trate de superficies límite de hormigonado, entendidas como tales aquellas que en situación definitiva quedan embebidas en la masa de hormigón, el recubrimiento no será menor que el diámetro de la barra o diámetro equivalente cuando se trate de grupos de barras, ni que 0,8 veces el tamaño máximo del árido.

En las viguetas armadas, la armadura básica se dispondrá en toda su longitud de acuerdo con el artículo 18.º. La armadura complementaria inferior podrá disponerse solamente en parte de su longitud. Dicha armadura complementaria deberá disponerse de forma simétrica respecto al punto medio de la vigueta.

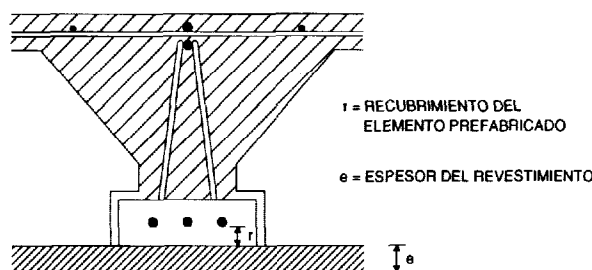


Figura 10.1 Recubrimiento de las armaduras pasivas

### 10.2 Armaduras activas.

Las armaduras activas de las viguetas y losas alveolares pretensadas cumplirán las condiciones especificadas en el artículo 32.º de la Instrucción EHE.

La distancia libre, horizontal y vertical entre dos armaduras aisladas consecutivas, será igual o mayor que el mayor de los tres valores siguientes:

- 15 mm para la separación horizontal y 10 mm para la separación vertical;
- el diámetro de la mayor;
- 1,25 veces el tamaño máximo del árido para la separación horizontal y 0,8 veces para la separación vertical.

Se podrán agrupar dos alambres en posición vertical siempre que sean de la misma calidad y diámetro, en cuyo caso, para determinar la magnitud de los recubrimientos y las distancias libres a las armaduras vecinas, se considerará el perímetro real de las armaduras.

Los recubrimientos de las armaduras cumplirán las prescripciones establecidas en el artículo 13.º

La armadura activa situada en la zona inferior de una vigueta pretensada estará constituida, al menos, por dos armaduras dispuestas en el mismo plano horizontal y en posición simétrica respecto al plano vertical medio. En las losas alveolares pretensadas la distancia entre las armaduras será menor que 400 mm y que dos veces el canto de la pieza.

La cuantía geométrica  $\rho$  de la armadura no será menor que el 1,5 por 1.000 del área de la sección total ni menor que el 5 por 1.000 del área cobaricéntrica con la armadura situada en la zona inferior de la misma.

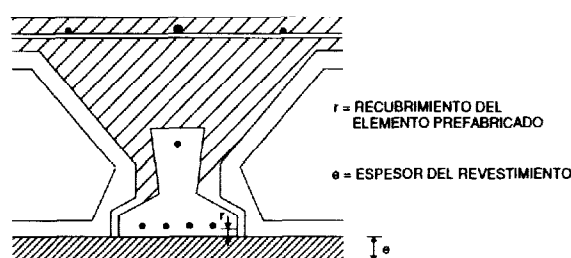


Figura 10.2 Recubrimiento de las armaduras activas

### 10.3 Hormigón de viguetas y losas alveolares pretensadas

El hormigón de las viguetas y losas alveolares pretensadas cumplirá las condiciones especificadas en el artículo 30.º de la Instrucción EHE, tipificándose según el apartado 39.2 de la Instrucción EHE.

#### Artículo 11.º Piezas de entrevigado.

##### 11.1 Generalidades.

La carga de rotura a flexión para cualquier pieza de entrevigado debe ser mayor que 1,0 kN determinada según UNE 53981:98 para las piezas de poliestireno expandido y según UNE 67037:99, para piezas de otros materiales.

En piezas de entrevigado cerámicas, el valor medio de la expansión por humedad, determinado según UNE 67036:99, no será mayor que 0,55 mm/m, y no debe superarse en ninguna de las mediciones individuales el valor de 0,65 mm/m. Las piezas de entrevigado que superen el valor límite de expansión total podrán utilizarse, no obstante, siempre que el valor medio de la expansión potencial, según la UNE 67036:99, determinado previamente a su puesta en obra, no sea mayor que 0,55 mm/m.

El comportamiento de reacción al fuego de las piezas que estén o pudieran quedar expuestas al exterior durante la vida útil de la estructura, alcanzará al menos la clasificación M1 de acuerdo con UNE 23727:90. Las bovedillas fabricadas con materiales inflamables deberán resguardarse de la exposición al fuego mediante capas protectoras eficaces. La idoneidad de las capas de protección deberá ser justificada empíricamente para el rango de temperaturas y deformaciones previsibles bajo la actuación del fuego de cálculo.

#### 11.2 Piezas aligerantes.

Se entienden como piezas de entrevigado aligerantes aquellas que no son consideradas como parte de la sección resistente del forjado.

Las piezas de entrevigado aligerantes pueden ser de cerámica, hormigón, poliestireno expandido u otros materiales suficientemente rígidos. Las piezas cumplirán con las condiciones establecidas en el apartado 11.1.

#### 11.3 Piezas colaborantes.

Se entienden como piezas de entrevigado colaborantes aquellas que son consideradas como parte de la sección resistente del forjado.

Las piezas de entrevigado colaborantes pueden ser de cerámica o de hormigón u otro material resistente. Cumplirán con las condiciones establecidas en el apartado 11.1 y su resistencia característica a compresión no será menor que la resistencia de proyecto del hormigón vertido en obra con que se ejecute el forjado. Puede considerarse que estas piezas forman parte de la sección resistente del forjado cuando se cumplen las condiciones indicadas en el artículo 14.º

#### Artículo 12.º *Hormigón vertido en obra.*

El hormigón vertido en obra tanto en la losa superior como en el relleno de nervios o juntas cumplirá las condiciones especificadas en el artículo 30 de la Instrucción EHE, siendo su resistencia característica la indicada en el proyecto de ejecución, y no será menor que la indicada en la Autorización de Uso.

Se tipificará dicho hormigón con el formato siguiente (según el apartado 39.2 de la Instrucción EHE):

T-R/C/TM/A

donde:

- el indicativo T será HA,
- la resistencia característica especificada R será, como mínimo 25 N/mm<sup>2</sup>,
- la consistencia debe ser, en condiciones habituales, blanda o fluida (por lo que C será B o F, respectivamente),
- el tamaño máximo del árido en mm, TM, será menor que 0,4 veces el espesor mínimo de la losa superior hormigonada en obra o del tamaño de la junta, y no puede superar los 20 mm, y
- la designación de ambiente A que se considerará para este hormigón será la indicada en 5.3.1.

Lo anterior se aplica incluso en el caso especial, indicado en el apartado 2.3, de forjado de losas alveolares pretensadas en el que, debido a la ausencia de acciones horizontales importantes y tras una adecuada justificación de que son satisfechos los estados límite últimos y de servicio, pueda prescindirse de la losa superior y en el que, además, no exista armadura embebida en el hormigón de relleno o juntas.

#### Artículo 13.º *Durabilidad.*

##### 13.1 Generalidades.

La durabilidad de un forjado debe conseguirse mediante una estrategia capaz de considerar todos los posibles factores de degradación, y actuar en consecuencia sobre cada una de las fases de proyecto, ejecución y uso de la estructura.

Una estrategia correcta para la durabilidad debe tener en cuenta que en una estructura puede haber diferentes forjados sometidos a distintos tipos de ambiente. A estos efectos se tendrán en cuenta las bases de cálculo orientadas a la durabilidad de los forjados establecidas en 5.3.

### 13.2 Estrategia de durabilidad.

Para la consecución de una durabilidad adecuada de los forjados que son objeto de esta Instrucción, deberá seguirse lo indicado en el artículo 37.º de la Instrucción EHE, considerando además los aspectos específicos que se indican a continuación.

### 13.3 Recubrimientos.

Tanto para armaduras pasivas como para armaduras activas pretensas se observarán los recubrimientos mínimos dados en el artículo 37.2.4 de la Instrucción EHE.

En el caso de viguetas o losas alveolares con  $f_{ck} \geq 40 \text{ N/mm}^2$ , que estén en posesión de un distintivo oficialmente reconocido, que garantice una constante de carbonatación inferior a  $1,6\text{mm}/\sqrt{\text{año}}$ , podrá reducirse en 5 mm el recubrimiento mínimo especificado para las clases generales II a y II b.

Para obtener el recubrimiento nominal los valores de recubrimiento mínimo de la Tabla 13.3 serán incrementados en un margen de recubrimiento cuyo valor será:

0 mm para el caso de:

- elementos prefabricados pretensados (viguetas o losas alveolares pretensadas), siempre que estén sometidos a un control de recepción a nivel intenso,
- elementos prefabricados en posesión de un distintivo oficialmente reconocido, o
- armadura de reparto en la losa superior de hormigón, sin función específica resistente considerada en el cálculo.

Para la aplicación de este margen de recubrimiento, y salvo en elementos que estén en posesión de un distintivo oficialmente reconocido, se exigirá que la documentación suministrada con los elementos prefabricados incluya copia de los registros de comprobación del control de recubrimientos y de posición de separadores, efectuado por el fabricante y correspondiente a la partida suministrada a obra. Para este caso, dicho control deberá incluir, al menos, seis elementos diferentes por cada pista fabricada en el caso de viguetas y dos elementos diferentes por cada pista fabricada en el caso de losas alveolares.

5 mm para el caso de:

- viguetas armadas con control de recepción a nivel intenso,
- elementos prefabricados pretensados con control de recepción a nivel normal, o
- losas superiores hormigonadas en obra con nivel intenso de control de ejecución.

Para la aplicación de este margen de recubrimiento se exigirá que la documentación suministrada con los elementos prefabricados incluya copia de los registros de comprobación del control de recubrimientos y de posición de separadores, efectuado por el fabricante y correspondiente a la partida suministrada a obra. Para este caso, dicho control deberá incluir, al menos, cuatro elementos diferentes por cada pista fabricada en el caso de viguetas y dos elementos diferentes por cada dos pistas fabricadas en el caso de losas alveolares.

10 mm en el resto de los casos.

Se exigirá además, en cualquier caso, que la documentación suministrada con los elementos prefabricados incluya copia de los registros de comprobación del control de recubrimientos y de posición de separadores, efectuado por el fabricante y correspondiente a la partida suministrada a obra. Para este caso, dicho control deberá incluir, al menos, tres elementos diferentes por cada pista fabricada en el caso de viguetas y dos elementos diferentes por cada tres pistas fabricadas en el caso de losas alveolares.

En las viguetas o losas alveolares pretensadas, el proyectista podrá contar, además del recubrimiento real del hormigón, con el espesor de los revestimientos del forjado que sean compactos e impermeables, tengan carácter de definitivos y permanentes, y estén adheridos directamente al hormigón del elemento, al objeto de cumplir los requisitos de recubrimiento mínimo. Sin embargo, en estos casos, dicho recubrimiento mínimo de hormigón nunca podrá ser menor que 15 mm.

No se emplearán en ningún caso espesores de revestimiento mayores que 20 mm. En aquellos casos en los que el espesor del recubrimiento sustituido exigiera mayores espesores, se añadirá una segunda protección adicional (pintura, resina epoxi, etc.), cuyo comportamiento deberá justificarse documentalmente.

## CAPÍTULO IV

## Cálculos relativos a los Estados Límite

Artículo 14.º *Estados Límite Últimos.*

En el cálculo de los forjados con piezas de entrevigado colaborantes, tanto para los Estados Límite Últimos, como para los de Servicio, puede considerarse que forman parte de la sección resistente los tabiquillos de las piezas de entrevigado adheridos al hormigón.

No se considerarán en el cálculo las zonas de hormigón vertido en obra en las que éste tiene difícil acceso como consecuencia de anchos de paso menores que 20 mm (Figura 14.2.1.b).

## 14.1 Estado Límite de Agotamiento frente a solicitaciones normales.

En los forjados con viguetas armadas o pretensadas, y en los forjados de losas alveolares pretensadas, las secciones sometidas a solicitaciones normales, momentos positivos o negativos, se calcularán según lo establecido en el artículo 42.º de la Instrucción EHE. Si existe además un esfuerzo axil, se considerará en el cálculo.

## 14.2 Estado Límite de Agotamiento frente a cortante.

## 14.2.1 Forjados de viguetas

Es necesario comprobar que no se produce agotamiento por compresión oblicua en el alma, ni por tracción oblicua en la misma. Para ello debe comprobarse que se cumplen simultáneamente las condiciones siguientes:

a) en el borde del apoyo:  $V_d \leq V_{u1}$

comprobación que no resulta necesaria en piezas sin armadura transversal;

b) a un canto útil respecto del borde del apoyo:  $V_d \leq V_{u2}$

siendo:

- $V_d$  el esfuerzo cortante de cálculo, obtenido de acuerdo con el artículo 7.º;  
 $V_{u1}$  el esfuerzo cortante de agotamiento por compresión oblicua en el alma;  
 $V_{u2}$  el esfuerzo cortante de agotamiento por tracción en el alma.

El esfuerzo cortante de agotamiento por compresión oblicua en el alma,  $V_{u1}$ , se deduce de la expresión siguiente:

$$V_{u1} = 0,3 f_{cd} b_o d (1 + \cotg \alpha)$$

siendo:

- $f_{cd}$  la resistencia de cálculo del hormigón a compresión  
 $b_o$  el ancho mínimo del nervio  
 $d$  el canto útil del forjado  
 $\alpha$  el ángulo de la armadura respecto al eje de la pieza

Los esfuerzos de agotamiento por tracción en el alma  $V_{u2}$ , en forjados sin armadura transversal y en forjados con armadura transversal pueden determinarse, respectivamente, según los apartados 44.2.3.2.1 y 44.2.3.2.2 de la Instrucción EHE.

No obstante, en forjados de viguetas sin armadura, pueden adoptarse para  $V_{u2}$ :

$$V_{u2} = 0,16 \sqrt{f_{cd}} b_o d$$

Además, en forjados de viguetas sin armadura y siempre que se cumpla lo establecido al respecto en el Anejo 5, tanto en lo relativo a limitación tipológica como a la existencia de un control de producción que justifique este valor, pueden adoptarse para  $V_{u2}$ :

$$V_{u2} = 0,32 \sqrt{f_{cd}} b_o d$$

La anterior expresión se aplicará exclusivamente a forjados con viguetas suministradas con un certificado de garantía del fabricante, firmado por persona física, conforme a lo establecido en el citado Anejo 5.

En forjados con armadura transversal:

$$V_{u2} = 0,16 \sqrt{f_{cd}} b_o d + 0,9 d \sum A_{\alpha} f_{y\alpha,d} (\sen \alpha_i + \cos \alpha_i)$$



siendo:

- $b_0$  el ancho mínimo del nervio;
- $d$  el canto útil del forjado;
- $f_{yk,d}$  la resistencia de cálculo a tracción del acero de la armadura transversal, igual a  $f_{yk}/\gamma_s \leq 400 \text{ N/mm}^2$ ;
- $A_\alpha$  el área de cada una de las familias de armaduras transversales, por unidad de longitud de nervio;
- $\alpha_i$  el ángulo que forman las diferentes familias de armaduras transversales con el eje del nervio, tal como se define en la Figura 44.2.3.1a de la Instrucción EHE considerando sólo aquellas armaduras con ángulo  $\alpha_i$  comprendido entre  $45^\circ$  y  $135^\circ$ ;
- $f_{cd}$  la resistencia de cálculo del hormigón a compresión, en  $\text{N/mm}^2$ .

En la comprobación a un nivel con un ancho  $b$  se adoptará como resistencia la que corresponde al hormigón de dicho nivel, y cuando la sección corte a dos hormigones se tomará, bien el ancho del prefabricado con su resistencia, bien el ancho total con la resistencia del hormigón vertido en obra (Figuras 14.2.1.a y 14.2.1.b), siempre que el hormigón «in situ» tenga menor resistencia que el elemento prefabricado.

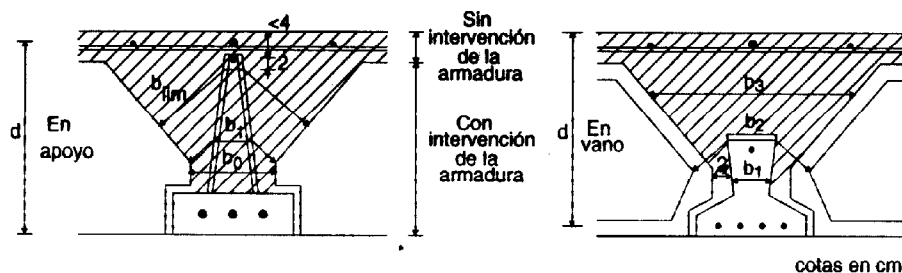


Figura 14.2.1.a Comprobación de esfuerzo cortante con piezas de entrevigado aligerantes

Figura 14.2.1.b Comprobación de esfuerzo cortante con piezas de entrevigado colaborantes

En los forjados de viguetas armadas con armadura básica, puede considerarse la colaboración de la celosía para la comprobación a esfuerzo cortante tomando como ancho del nervio el correspondiente a una profundidad mayor o igual que 20 mm por debajo del redondo superior de la celosía. Asimismo deberá comprobarse el nervio sin la colaboración de la celosía con el menor ancho del nervio, entre 20 mm por debajo del redondo superior de la celosía y la cara superior del forjado.

## 14.2.2 Forjados de losas alveolares pretensadas.

### 14.2.2.1 Cortante longitudinal.

Para comprobar que no se alcanza el Estado Límite de Agotamiento por esfuerzo cortante es necesario comprobar, en una sección situada a la mitad de un canto útil del borde del apoyo, que:

$$V_d \leq V_{u2}$$

El esfuerzo cortante de agotamiento por tracción en el alma  $V_{u2}$  (ver Figura 14.2.2) se determina como sigue.

a) En la zona en la que  $M_d \leq M_o$ :

$$V_{u2} = \frac{I b_0}{S} \sqrt{f_{ct,d}^2 + \alpha \sigma_{cpm} f_{ct,d}}$$

siendo:

- $M_d$  el momento de cálculo de la sección;
- $M_o$  el momento de descompresión de la sección;
- $I$  el momento de inercia de la sección transversal;
- $S$  el momento estático de la sección transversal;
- $f_{ct,d}$  la resistencia de cálculo a tracción del hormigón;
- $\sigma_{cpm}$  la tensión media en el hormigón debida a la fuerza de pretensado;
- $\alpha$  coeficiente igual a  $x/(1,2 I_{bd}) \leq 1$

siendo:

$x$  la distancia de la sección al extremo

$l_{bd}$  la longitud de transferencia de la armadura activa de pretensado, en mm, que puede tomarse como:  $l_{bd} = \phi \sigma_p / 21$

donde:

$\sigma_p$  es la tensión de pretensado, después de las pérdidas, en N/mm<sup>2</sup>

$\phi$  es el diámetro de la armadura activa, en mm.

En las losas alveolares pretensadas con losa superior hormigonada en obra deben considerarse la suma de las dos situaciones siguientes de carga:

- esfuerzos resultantes del peso propio de la losa prefabricada y del hormigón vertido en obra, que son resistidos exclusivamente por la losa prefabricada;
- esfuerzos cortantes de las cargas totales que son resistidos por la sección compuesta.

El momento  $M_0$  será en este caso el de la sección compuesta con losa, y el  $M_d$  la suma de los momentos mayorados de cargas que actúan en sección compuesta más los debidos a cargas en sección simple multiplicados por la relación de momentos resistentes de sección compuesta y simple en la fibra más traccionada.

En estos casos también serán precisas las comprobaciones de la superficie de contacto entre el hormigón vertido en obra y el hormigón prefabricado indicadas en el apartado 14.3.

- En la zona en la que  $M_d \geq M_0$ :

Se determinará de acuerdo con lo establecido en el apartado 44.2.3.2.1 de la Instrucción EHE, es decir:

$$V_{u2} = \left( 0,12 \xi (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} - 0,15 \sigma'_{cd} \right) b_0 d$$

siendo:

$f_{ck}$  la resistencia característica a compresión del hormigón en N/mm<sup>2</sup>;

$$\xi = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \quad \text{con } d \text{ en mm};$$

$\rho_l$  la cuantía de armadura longitudinal traccionada, pasiva y activa adherente, anclada a una distancia igual o mayor que  $d$  a partir de la sección en estudio;

$$\rho_l = \frac{A_s + A_p \frac{f_{pd}}{f_{yd}}}{b_0 d} \leq 0,02$$

siendo:

$A_s$  armadura pasiva longitudinal;

$A_p$  armadura activa adherente longitudinal;

$f_{pd}$  resistencia de cálculo del acero de la armadura activa adherente;

$f_{yd}$  resistencia de cálculo del acero de la armadura pasiva;

$b_0$  ancho mínimo del nervio;

$d$  canto útil del forjado.

#### 14.2.2.2 Cortante vertical en las juntas.

El esfuerzo cortante vertical por unidad de longitud en las juntas longitudinales  $V_d$  no será mayor que el esfuerzo cortante resistido  $V_u$  calculado como el menor de los valores siguientes:

$$V_u = 0,25 (f_{bt,d} \Sigma h_f + f_{ct,d} h_0)$$

$$V_u = 0,15 f_{ct,d} (h + h_f)$$

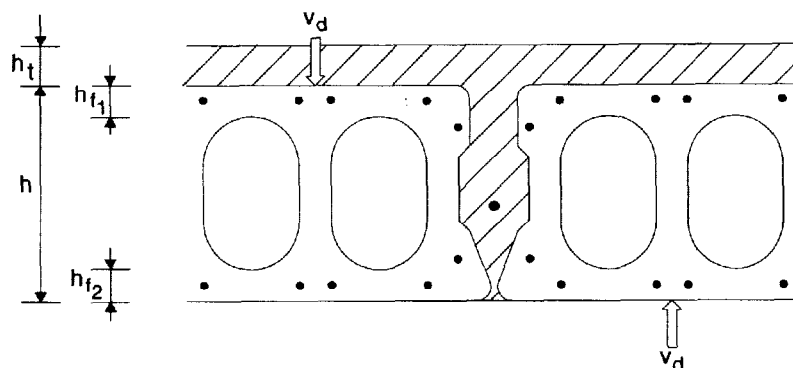


Figura 14.2.2 Esfuerzo cortante en las juntas entre losas alveolares pretensadas

siendo:

- $f_{bt,d}$  la resistencia de cálculo a tracción del hormigón de la losa prefabricada;
- $f_{ct,d}$  la resistencia de cálculo a tracción del hormigón vertido en obra;
- $\sum h_f$  la suma de los menores espesores del ala superior y del ala inferior de la losa prefabricada (Figura 14.2.2);
- $h$  la altura neta de la junta;
- $h_t$  el espesor del hormigón de la losa superior hormigonada en obra.

#### 14.3 Estado Límite de Agotamiento por Esfuerzo Rasante.

Además de las comprobaciones anteriores, tanto en los forjados con viguetas armadas o pretensadas, como en los forjados de losas alveolares pretensadas con losa superior hormigonada en obra, debe verificarse que la tensión rasante que solicita la junta entre el elemento prefabricado y el hormigón vertido en obra cumple la condición establecida en el artículo 4.7.2 de la Instrucción EHE relativa a la resistencia a esfuerzo rasante en juntas entre hormigones.

A efectos de perímetro crítico de contacto  $p$  se tendrá en cuenta lo indicado en la Figura 14.3.

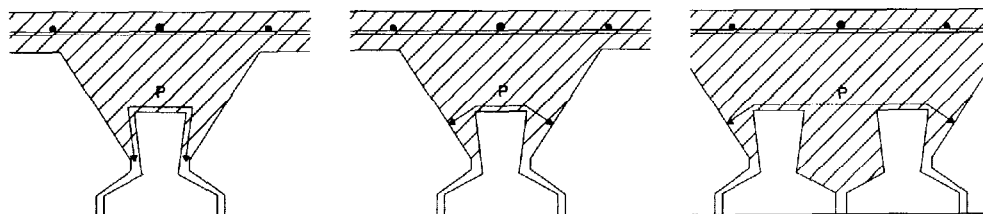


Figura 14.3 Perímetro de contacto entre hormigones

Podrán admitirse valores de esfuerzo rasante hasta un 20% superiores a los indicados en la Instrucción EHE, para las viguetas armadas o pretensadas sin armadura de conexión, eficazmente engarzadas en cola de milano, justificándolos mediante resultados de ensayo de acuerdo con el Anejo 6. Dichos ensayos deberán reproducir las peores condiciones que puedan presentarse dentro del campo de utilización del forjado en cuestión.

#### 14.4 Estado Límite de Punzonamiento en forjados.

Si existen cargas concentradas importantes debe comprobarse la resistencia a punzonamiento del forjado.

Los forjados sometidos a cargas concentradas importantes deberán disponer de losa superior hormigonada en obra, y serán objeto de un estudio especial.

En las losas alveolares pretensadas sin losa superior hormigonada en obra, la carga puntual sobre la losa alveolar prefabricada no será mayor que:

$$V_u = b_w h f_{ct,d} (1 + 0,3 \alpha \sigma_{cpm} / f_{ct,d})$$

siendo:

- $b_w$  el ancho efectivo, obtenido como suma de las almas afectadas de acuerdo con la Figura 14.4,
- $h$  la altura total de la losa,

$f_{ct,d}$  la resistencia de cálculo a tracción del hormigón de la losa prefabricada,  
 $\sigma_{cpm}$  la tensión media en el hormigón debida a la fuerza de pretensado, y  
 $\alpha$  coeficiente igual a  $[\alpha/(1,2 l_{bd})] \leq 1$

donde:

$x$  es la distancia desde la sección al extremo;  
 $l_{bd}$  es la longitud de transferencia de la armadura activa de pretensado.

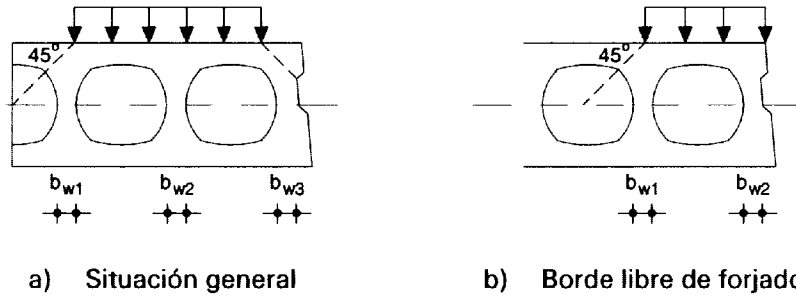


Figura 14.4 Ancho efectivo en losas alveolares pretensadas

Para cargas concentradas de las cuales más del 50 % esté actuando sobre un borde libre del forjado con un ancho de  $b_w$  (véase Figura 14.4), la resistencia resultante de la fórmula es aplicable sólo si se disponen, al menos, un alambre o cordón en el alma exterior y un refuerzo pasivo transversal. Si no se cumple alguna de estas dos condiciones, la resistencia debe dividirse por el factor 2.

Como refuerzo pasivo transversal deben disponerse chapas o barras en la parte superior del elemento con una longitud de al menos 1,20 m, perfectamente ancladas y calculadas para resistir una fuerza de tracción igual al total de la carga concentrada.

Si sobre algún alveolo existiese una carga de ancho menor que la mitad del ancho del alveolo, se calculará un segundo valor de resistencia con la fórmula anterior, pero sustituyendo  $h$  por el menor espesor del ala superior y  $b_w$  por el ancho de la zona cargada. Para la comprobación debe tomarse el menor de los valores de resistencia anteriormente calculados.

14.5 Estado Límite de Agotamiento por torsión en losas alveolares pretensadas.

Si una sección está sujeta a esfuerzos cortantes y torsores concomitantes, la capacidad a cortante  $V_{u2n}$  debe calcularse a partir de:

$$V_{u2n} = V_{u2} - V_{Td}$$

con

$$V_{Td} = \frac{T_d}{2b_w} \cdot \frac{\sum b_w}{b - b_w}$$

siendo:

- $V_{u2n}$  el valor neto de la resistencia a cortante
- $V_{u2}$  la resistencia a cortante según el apartado 14.2
- $V_{Td}$  el incremento de cortante producido por el momento torsor
- $T_d$  el momento torsor de cálculo en la sección analizada
- $b_w$  el ancho del alma exterior al nivel del centro de gravedad (véase Figura 14.5)

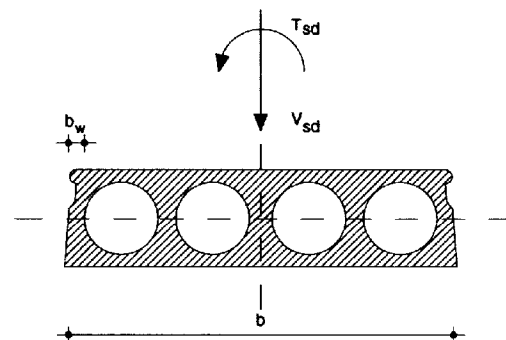


Figura 14.5 Esfuerzo cortante y torsor o cortante excéntrico

## 14.6 Casos especiales de carga y sustentación.

### 14.6.1 Flexión transversal debida a cargas concentradas en losas alveolares pretensadas.

La acción de cargas concentradas provoca momentos flectores transversales en las losas alveolares pretensadas. Dado que estas losas no disponen de armadura transversal, deben limitarse las tensiones de tracción debidas a estos momentos flectores. El valor límite depende de los supuestos básicos de cálculo sobre la distribución de las cargas.

Si los elementos se proyectan sin tener en cuenta el reparto transversal de las cargas, lo que significa que todas las cargas que actúan sobre un elemento serían resistidas exclusivamente por dicho elemento, el valor límite de la tensión de tracción es  $f_{ct,k}$  en el Estado Límite de Servicio.

En este caso, en el Estado Límite de Servicio, la capacidad a cargas concentradas  $q_k$  en N/mm, y a carga puntual  $F_k$  en N, se calcula como sigue:

- a) para una carga lineal no situada en borde del forjado:

$$q_k = \frac{20 W_{fb} f_{ct,k}}{\ell + 2b}$$

- b) para una carga lineal situada en borde de forjado:

$$q_k = \frac{10 W_{ft} f_{ct,k}}{\ell + 2b}$$

siendo:

- $\ell$  la luz del vano, en mm.  
**b** el ancho de la losa, en mm.

- c) para una carga puntual situada en cualquier lugar sobre un área de forjado:

$$F_k = 3 W_{\ell} f_{ct,k}$$

siendo:

- $W_{fb}$  el módulo resistente inferior mínimo en dirección transversal por unidad de longitud, en mm<sup>3</sup>/mm;  
 $W_{ft}$  el módulo resistente superior mínimo en dirección transversal por unidad de longitud, en mm<sup>3</sup>/mm;  
 $W_{\ell}$  el valor menor de  $W_{fb}$  y  $W_{ft}$  en mm<sup>3</sup>/mm.

Si los forjados de losas alveolares pretensadas se calculan considerando el reparto transversal de la carga según la teoría elástica, lo cual significa que una parte de las cargas actuantes sobre un elemento se distribuye a los elementos adyacentes, el valor límite de la tensión a tracción será  $f_{ct,d}$  en Estado Límite Último. Las resistencias a cargas concentradas, en este caso en el Estado Límite Último, pueden derivarse de la misma fórmula, pero sustituyendo  $q_k$ ,  $F_k$  y  $f_{ct,k}$  por  $q_d$ ,  $F_d$  y  $f_{ct,d}$  respectivamente.

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

La acción de cargas repartidas sobre una losa alveolar pretensada con un borde longitudinal apoyado provoca momentos torsores en la misma. La reacción en los apoyos debida a la torsión debe ignorarse en el cálculo en el Estado Límite Último.

Las tensiones tangenciales debidas a estos momentos torsores se deben limitar a  $f_{ct,k}/1,5$  en el Estado Límite de Servicio.

La capacidad de carga  $q_k$  por unidad de superficie, en N/mm, para la carga total menos la carga debida al peso propio de la losa alveolar pretensada, se calculará, en el Estado Límite de Servicio, como:

$$q_k = \frac{f_{ct,k} W_t}{0,06 \ell^2}$$

$$\text{con } W_t = 2 t (h - h_r) (b - b_w)$$

siendo:

- $W_t$  el módulo torsor de la sección de un elemento según la teoría elástica, en mm<sup>3</sup>;  
 $t$  el menor de los valores de  $h_r$  y  $b_w$ , en mm;  
 $h_r$  el menor valor del espesor del ala superior o inferior, en mm;  
 $b_w$  el espesor del alma exterior, en mm.

## Artículo 15.º *Estados Límite de Servicio.*

### 15.1 Estado Límite de Fisuración.

La comprobación de las condiciones de fisuración se realizará según lo establecido en el artículo 49 de la Instrucción EHE con las particularidades que se indican a continuación.

En los cálculos necesarios para la comprobación de este Estado Límite de Servicio ante cargas totales, las tensiones se obtendrán como suma de las originadas en cada fase de construcción, teniendo en cuenta las cargas aplicadas, las condiciones de sustentación y las secciones resistentes de cada fase.

#### 15.1.1 Fisuración por compresión.

La comprobación de la aparición de fisuras por compresión se efectuará conforme a lo establecido en el apartado 49.2.1. de la Instrucción EHE.

#### 15.1.2 Fisuración por tracción.

Las máximas aberturas de fisuras para los distintos ambientes definidos en 5.3, serán las especificadas en el apartado 49.2.4 de la Instrucción EHE.

En los forjados con viguetas armadas y pretensadas, tanto en la losa superior hormigonada en obra como en los elementos prefabricados, se calculará la abertura de fisura mediante el método general de cálculo definido en el apartado 49.2.5 de la Instrucción EHE.

### 15.2 Estado Límite de deformación.

El artículo 50.º de la Instrucción EHE establece las consideraciones y los procedimientos para las comprobaciones que, con carácter general, deben tenerse en cuenta para este Estado Límite. En el caso de los forjados que se incluyen en esta Instrucción, se tendrán en cuenta, además, las prescripciones que establece este apartado.

Con carácter general, para que un forjado verifique este Estado Límite será suficiente con el cumplimiento de las especificaciones relativas a cantos mínimos según el apartado 15.2.2, siempre que no se superen las luces máximas establecidas en dicho apartado. En otros casos, deberá recurrirse al procedimiento general según el apartado 15.2.3.

#### 15.2.1 Límites de flecha.

Las deformaciones calculadas deben cumplir las condiciones siguientes:

- la flecha total a tiempo infinito no excederá al menor de los valores  $L/250$  y  $L/500 + 1$  cm;
- para forjados que sustentan tabiques o muros de partición o de cerramiento la flecha activa no excederá al menor de los valores  $L/500$  y  $L/1.000 + 0,5$  cm.

En las expresiones anteriores  $L$  es la luz del vano  $y$ , en el caso de voladizo, 1,6 veces el vuelo.

#### 15.2.2 Canto del forjado.

En los forjados de viguetas con luces menores que  $7 \text{ m}^2$  y en los forjados de losas alveolares pretensadas con luces menores que  $12 \text{ m}^2$ , y sobrecargas no mayores que  $4 \text{ kN/m}^2$ , no es preciso comprobar si la flecha cumple con las limitaciones de 15.2.1 si el canto total  $h$  es mayor que el mínimo  $h_{min}$  dado por:

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

siendo:

- $\delta_1$  factor que depende de la carga total  $y$  que tiene el valor de  $\sqrt{q/7}$ , siendo  $q$  la carga total, en  $\text{kN/m}^2$ ;
- $\delta_2$  factor que tiene el valor de  $(L/6)^{1/4}$ ;
- $L$  la luz de cálculo del forjado, en  $m$ ;
- $C$  coeficiente cuyo valor se toma de la Tabla 15.2.2:

TABLA 15.2.2

COEFICIENTES C				
Tipo de forjado	Tipo de carga	Tipo de tramo		
		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	-	-

(\*) Piezas pretensadas proyectadas de forma que, para la combinación infrecuente no llegue a superarse el momento de fisuración

En el caso de voladizos, C tomará los valores siguientes: 6 si el forjado recibe la carga de tabiques o muros y 9 en otros casos.

### 15.2.3 Cálculo de la flecha.

#### 15.2.3.1 Método general.

Se efectuará conforme al apartado 50.2.1. de la Instrucción EHE.

#### 15.2.3.2 Método simplificado.

La flecha instantánea puede calcularse, en cada fase de construcción, considerando para cada vano del forjado un valor único de inercia equivalente  $I_e$ , que tiene en cuenta el efecto de la fisuración, resultado de aplicar la fórmula que luego se indica a las secciones de centro de vano y a las extremas en empotramiento, con el siguiente criterio:

- en vano aislado se considera sólo la sección centro de vano  $I_{ec}$ :  $I_e = I_{ec}$
- en voladizos la de empotramiento  $I_{ee}$ :  $I_e = I_{ee}$
- en vanos intermedios con continuidad en ambos extremos se toma la de centro de vano  $I_{ec}$  y las de los dos extremos  $I_{ee1}$  e  $I_{ee2}$  con la fórmula:

$$I_e = 0,50 I_{ec} + 0,25 I_{ee1} + 0,25 I_{ee2}$$

- en vanos con continuidad en sólo un extremo, la de centro de vano  $I_{ec}$  y la de extremo empotrado  $I_{ee}$  con la fórmula:

$$I_e = 0,75 I_{ec} + 0,25 I_{ee}$$

En cada una de estas secciones la inercia a considerar será:

- si bajo la acción del momento exterior  $M_a$  y del pretensado, en su caso, no se produce, en la fibra más traccionada por las cargas exteriores, una tensión de tracción mayor que  $f_{ctf}$ , la de la sección bruta  $I_b$  o, si se produce, la de la sección homogeneizada, teniendo en cuenta las armaduras con su coeficiente de equivalencia;
- en caso contrario, una inercia intermedia entre la bruta  $I_b$  y la fisurada  $I_f$  se obtiene con la fórmula:

$$I_e = \left( \frac{M_f - M_0}{M_a - M_0} \right)^3 I_b + \left( 1 - \left( \frac{M_f - M_0}{M_a - M_0} \right)^3 \right) I_f \leq I_b$$

siendo:

$f_{ct,f}$  la resistencia a flexotracción del hormigón, igual a  $0,37 f_{ck}^{2/3}$ , con  $f_{ck}$  en N/mm<sup>2</sup>  
 $M_f$  el momento de fisuración, calculado como sigue:

$$M_f = W (f_{ct,f} + \sigma_{cp}) + M_v \left(1 - \frac{W}{W_v}\right)$$

siendo:

$W$  el módulo resistente respecto de la fibra más traccionada de la sección, que será :

- el de la pieza prefabricada ( $W_v$ ), en caso de construcción no apeada, cuando se calcula la flecha bajo el peso propio de la misma o del hormigón vertido en obra.
- el del forjado ( $W_f$ ), en cualquier etapa de construcción apeada y en servicio.

$\sigma_{cp}$  tensión previa en la fibra inferior de la pieza prefabricada, producida por el pretensado.

$I_f$  el momento de inercia de la sección fisurada, descontando zonas traccionadas de hormigón y homogeneizando las armaduras activas y adherentes con coeficiente de equivalencia la relación de módulos de elasticidad de hormigón y acero.

$M_v$  momento debido a las cargas que actúan sobre la pieza prefabricada antes de trabajar conjuntamente con el hormigón in situ, cuyo valor es:

- Para construcción no apeada, el momento debido al peso propio de la pieza prefabricada y al peso del hormigón vertido in situ.
- Para construcción apeada, cero si la pieza es armada y el momento debido a su peso propio si es pretensada.
- Cero en las secciones extremas sometidas a momentos negativos.

$M_a$  el máximo momento flector que históricamente haya podido solicitar la sección considerada, incluida la fase en estudio.

$M_0$  un momento flector asociado a la situación de curvatura nula de la sección, de valor:

$$M_0 = P \cdot e \cdot \beta - M_v \cdot (\beta - 1)$$

siendo:

$P$  valor absoluto de la fuerza de pretensado, si existe, que puede tomarse igual al 90% de la fuerza inicial de pretensado.

$e$  excentricidad del tendón equivalente de pretensado, en la sección de estudio, en valor absoluto, respecto del centro de gravedad de la viga o placa alveolar.

$\beta$  relación entre la inercia bruta de la sección del forjado en la fase constructiva en que se calcula la flecha y la inercia bruta de la sección de la pieza prefabricada, mayor o igual a la unidad. En construcción no apeada, cuando se calcula la flecha bajo el peso propio de la misma o del hormigón vertido en obra,  $\beta = 1$ .

Las flechas diferidas pueden estimarse aplicando el apartado 50.2.2.3 de la Instrucción EHE.

#### Artículo 16.º *Comprobaciones previas al hormigonado en obra.*

##### 16.1 Condiciones de apuntalado y sopandado.

La separación máxima entre sopandas, en su caso, se calculará teniendo en cuenta lo siguiente:

- a) durante el hormigonado en obra, la acción característica de ejecución sobre las viguetas es el peso propio total del forjado y una sobrecarga de ejecución no menor que 1 kN/m<sup>2</sup>;
- b) la luz de cálculo de cada tramo  $L_a$  se medirá entre los apoyos extremos de las viguetas y los ejes de sopandas (Figura 16.1);



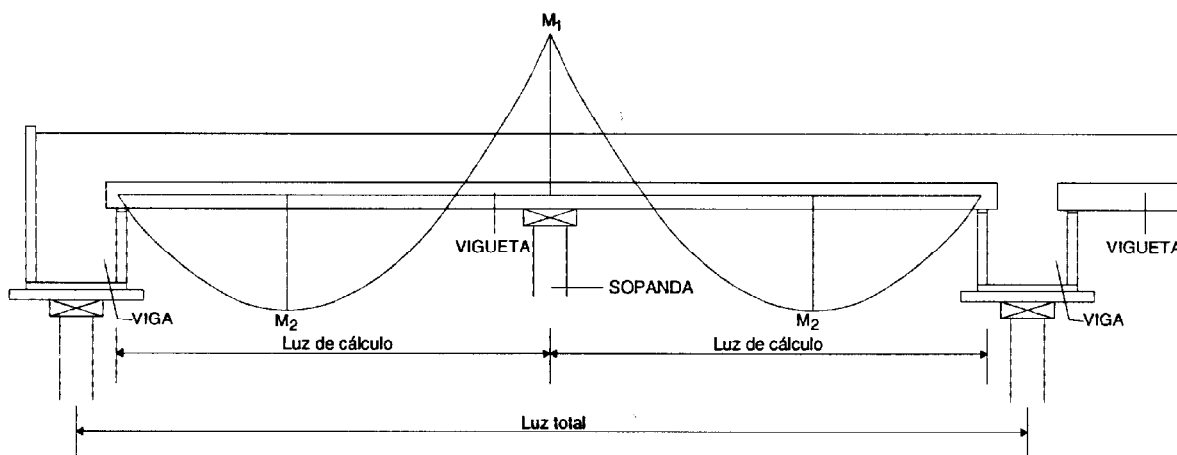


Figura 16.1 Solicitaciones del forjado durante el hormigonado

- c) las solicitaciones se calcularán por el método lineal, en la hipótesis de rigidez constante de la vigueta;  
 d) los coeficientes parciales de seguridad  $\gamma_g$  y  $\gamma_q$  de las acciones en fase de ejecución pueden ser menores a los indicados en el apartado 12.1 de la Instrucción EHE, pero en ningún caso el coeficiente de seguridad global de las acciones  $\gamma_f$  será menor que 1,25.

### 16.2 Comprobaciones de viguetas y losas alveolares pretensadas.

En las viguetas de hormigón armado o pretensado y en las losas alveolares pretensadas, en Estado Límite Último, se verificarán las siguientes condiciones:

$$\gamma_f M_1 \leq M_{u1} \quad \gamma_f M_2 \leq M_{u2} \quad \gamma_f V \leq V_u$$

En Estado Límite de Servicio, bajo la acción característica de peso propio del forjado, la flecha  $w$  de todo tramo de vigueta o losa alveolar pretensada cumplirá la condición:

$$w \leq L_a / 1.000$$

siendo  $L_a$  la luz de cálculo de acuerdo con el apartado 16.1.b, expresada en mm, y en viguetas  $w$  será no mayor que 3 mm.

Además, en las viguetas de hormigón pretensado y losas alveolares pretensadas se cumplirá:

a) sobre las sopandas:

- en la fibra inferior:  $\sigma'_c + \gamma_f M_1 / W' \leq 0,6 f_{ck}$
- en la fibra superior:  $\sigma''_c - \gamma_f M_1 / W'' \leq f_{ct,fl}$

b) en los vanos:

- en la fibra inferior:  $\sigma'_c - \gamma_f M_2 / W' \geq 0$
- en la fibra superior:  $\sigma''_c + \gamma_f M_2 / W'' \leq 0,6 f_{ck}$

siendo:

- $M_1, M_2$  los momentos flectores en la vigueta o losa alveolar pretensada, en valor absoluto, debidos a las acciones de ejecución, sobre sopanda y en vano, respectivamente;
- $M_{u1}, M_{u2}$  los momentos flectores últimos que resiste la vigueta o losa alveolar pretensada, en valor absoluto, a flexión negativa y a flexión positiva, respectivamente;
- $V$  el esfuerzo cortante máximo en la vigueta o losa alveolar pretensada, en valor absoluto, debido a las acciones de ejecución;
- $V_u$  el esfuerzo cortante último, en valor absoluto, que resiste la vigueta o losa alveolar pretensada;
- $f_{ck}$  la resistencia característica a compresión del hormigón de la vigueta o losa alveolar pretensada, en N/mm<sup>2</sup>;
- $f_{ct,fl}$  la resistencia a flexotracción del hormigón de la vigueta o losa alveolar pretensada, que puede suponerse simplificada igual  $0,37 \sqrt{f_{ck}^2}$ , para  $f_{ct,fl}$  y  $f_{ck}$ , en N/mm<sup>2</sup>.

- $\sigma'_c, \sigma''_c$  las tensiones del hormigón en las fibras inferior y superior de la vigueta o losa alveolar pretensada después de la transferencia, deducidas todas las pérdidas hasta la fecha de ejecución del forjado, con signo positivo si son de compresión;
- $W', W''$  los módulos resistentes de la sección homogeneizada de la vigueta o losa alveolar pretensada, correspondientes a la fibra inferior y superior, respectivamente;
- $\gamma_f$  coeficiente de seguridad global de las acciones que, de acuerdo con 16.1 d), se tomará mayor o igual a 1,25.

## CAPÍTULO V

### Condiciones generales y disposiciones constructivas de los forjados

#### Artículo 17.º Condiciones geométricas.

La sección transversal del forjado cumplirá los requisitos siguientes (Figura 17.a):

- el espesor mínimo  $h_o$  de la losa superior hormigonada en obra, excepto en los forjados con losas alveolares pretensadas en las que pueden no disponerse ésta, será de:
  - 40 mm sobre viguetas;
  - 40 mm sobre piezas de entrevigado cerámicas o de hormigón y losas alveolares pretensadas;
  - 50 mm sobre piezas de entrevigado de otro tipo;
  - 50 mm sobre piezas de entrevigado en el caso de zonas con aceleración sísmica de cálculo mayor que 0,16 g.
- el perfil de la pieza de entrevigado será tal que, a cualquier distancia  $c$  de su eje vertical de simetría, el espesor de hormigón de la losa superior hormigonada en obra no será menor que:
  - $c/8$  en el caso de piezas de entrevigado colaborante.
  - $c/6$  en el caso de piezas de entrevigado aligerantes.
- en el caso de forjados de viguetas sin armaduras transversales de conexión con el hormigón vertido en obra, el perfil de la pieza de entrevigado dejará a ambos lados de la cara superior de la vigueta un paso de 30 mm, como mínimo;
- en el caso de losas alveolares pretensadas, el espesor mínimo de las almas, del ala superior y del ala inferior, debe ser mayor que los valores siguientes:
  - $\sqrt{2h}$ , siendo  $h$  el canto total de la pieza prefabricada, en mm,
  - 20 mm, y
  - resultado de sumar 10 mm al tamaño máximo del árido.

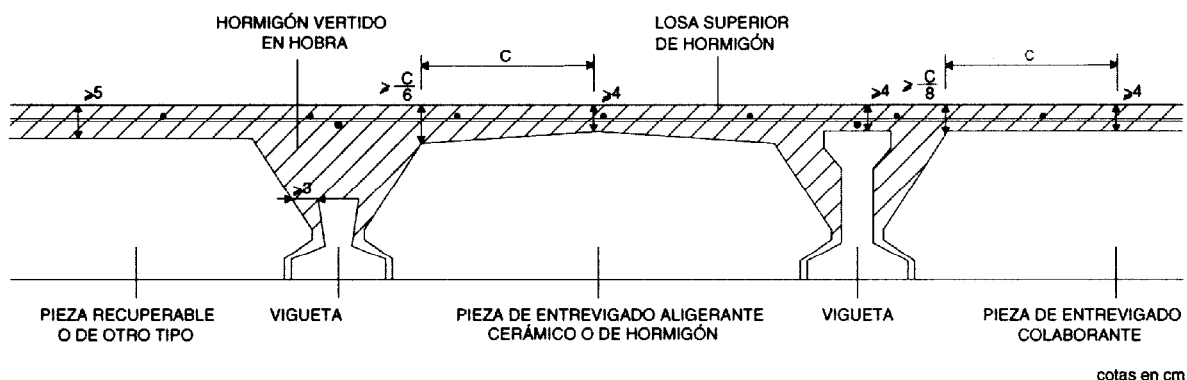


Figura 17.a Condiciones geométricas de los forjados

La forma de la junta será la adecuada para permitir el paso de hormigón de relleno, con el fin de crear un núcleo capaz de transmitir el esfuerzo cortante entre losas colaterales y para, en el caso de situar en ella armaduras, facilitar su colocación y asegurar una buena adherencia.

La sección transversal de las juntas deberá cumplir con los requisitos siguientes:

- el ancho de la junta en la parte superior de la misma no será menor que 30 mm;
- el ancho de la junta en la parte inferior de la misma no será menor que 5 mm, ni al diámetro nominal máximo de árido  $D$ ;

- si en el interior de la junta se disponen barras de atado longitudinales, el ancho de la junta al nivel de la barra debe ser mayor o igual que el mayor de los dos siguientes valores:

$$\begin{aligned} & \phi + 20 \text{ mm} \\ & \phi + 2 D \end{aligned} \quad \text{con } D \text{ y } \phi \text{ expresados en mm.}$$

Cuando la junta longitudinal deba resistir un esfuerzo cortante vertical (véase 14.2.2), la superficie debe estar provista de, al menos, una ranura de tamaño adecuado con respecto a la resistencia del hormigón de relleno. En cualquier caso, la altura de la ranura debe ser mayor o igual a 35 mm, su profundidad (o ancho máximo) será mayor o igual a 10 mm y la distancia entre la parte superior de la ranura y la superficie superior de la losa alveolar pretensada será mayor o igual a 30 mm.

#### Artículo 18.º Armado longitudinal.

En forjados de viguetas armadas, la armadura longitudinal inferior se compondrá, al menos, de dos barras y su sección total,  $A_s$ , cumplirá la siguiente condición:

Si el cálculo conduce a una armadura  $A_s \leq 0,10 \frac{b_0 d f_{cd}}{f_{yd}}$ , entonces disponer una  $A_{s,min}$  de valor

$$A_{s,min} = \left[ 1,5 - 4,55 \frac{A_p f_{pd}}{b_0 d f_{cd}} \right] A_s$$

En forjados de viguetas pretensadas, en la fórmula anterior debe sustituirse  $A_s f_{yd}$  por  $A_p f_{pd}$ , donde  $A_p$  es el área de armadura pretesa y  $f_{pd}$  la tensión de dicha armadura, deducida la correspondiente tensión permanente de pretensado.

La armadura longitudinal superior sobre los apoyos interiores en continuidad de un forjado, compuesta por una o más barras, cumplirá la siguiente condición:

Si el cálculo conduce a una armadura  $A_s \leq 0,20 \frac{b_0 d f_{cd}}{f_{yd}}$ , entonces disponer una  $A_{s,min}$  de valor

$$A_{s,min} = \left[ 1,5 - 2,49 \frac{A_s f_{yd}}{b_0 d f_{cd}} \right] A_s$$

En el caso de forjados de viguetas armadas, tanto para momentos positivos como negativos en apoyos interiores en continuidad, la armadura  $A_s$  debe cumplir además la condición:

$$A_s \geq \beta b_w h$$

siendo:

- $b_0$  el ancho de la sección a nivel de la armadura de tracción en flexión positiva, en mm (Figura 18);
- $b_w$  el ancho mínimo del nervio, en mm;
- $h$  el canto total del forjado, en mm;
- $d$  el canto útil del forjado, en mm;
- $f_{cd}$  la resistencia de cálculo a compresión del hormigón de obra, en N/mm<sup>2</sup>;
- $f_{yd}$  la resistencia de cálculo del acero de la armadura, en N/mm<sup>2</sup>;
- $\beta$  coeficiente cuyo valor es 0,004 para acero B 400 y 0,003 para acero B 500.

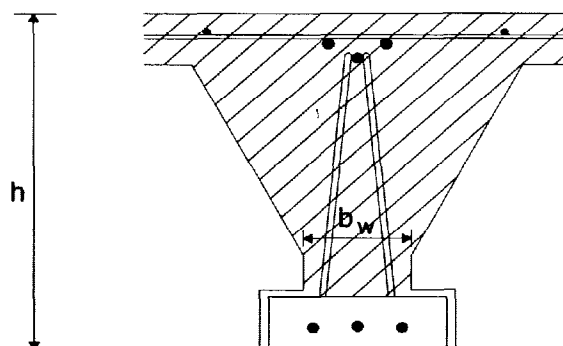


Figura 18 Detalle del nervio

Para otros tipos de piezas diferentes de los forjados de viguetas, se estará a lo previsto en la Instrucción EHE. Al menos la tercera parte de la armadura del centro del vano se llevará hasta los extremos.

En las losas alveolares pretensadas, cuando sea necesario disponer armadura pasiva para resistir momentos negativos sobre los apoyos interiores en continuidad, la cuantía mínima será la indicada en este apartado para momentos negativos, en cuyo caso  $b_o$  será la suma de los espesores de las almas, y  $f_{cd}$  la resistencia de cálculo del hormigón de la losa alveolar pretensada.

#### Artículo 19.º Armado transversal.

Los forjados pueden realizarse sin armadura transversal si el esfuerzo cortante de agotamiento de sus nervios, calculado según el apartado 14.2, es mayor o igual al esfuerzo cortante de cálculo. Si no es así pueden aumentarse las dimensiones de los nervios o colocar armadura transversal, de estribos o de celosía, en las zonas que lo requieran.

En los forjados de viguetas armadas con armadura básica, puede considerarse la colaboración de la celosía para la comprobación a esfuerzo cortante, siempre que se cumplan las especificaciones definidas para este tipo de armaduras en el artículo 31 de la Instrucción EHE, y ello para las secciones horizontales situadas al menos 20 mm por debajo del eje del redondo superior de la celosía.

#### Artículo 20.º Armado de reparto.

En la losa superior de hormigón vertido en obra, se dispondrá una armadura de reparto, con separaciones entre elementos longitudinales y transversales no mayores que 35 cm, de al menos 4 mm de diámetro en dos direcciones, perpendicular y paralela a los nervios, y tales que la sección total de esta armadura, en  $\text{cm}^2/\text{m}$  sea:

- a) en la dirección perpendicular a los nervios:

$$A_1 \geq \frac{5 h_o}{f_{yd}}$$

- b) en la dirección paralela a los nervios:

$$A_2 \geq \frac{2,5 h_o}{f_{yd}}$$

siendo:

$h_o$  el espesor mínimo de la losa superior hormigonada en obra sobre las piezas de entrevigado, en mm;  
 $f_{yd}$  la resistencia de cálculo del acero, en  $\text{N}/\text{mm}^2$ .

De acuerdo con la Instrucción EHE, el diámetro mínimo de la armadura de reparto será 5 mm si ésta se tiene en cuenta a efectos de comprobación de los Estados Límite Últimos.

En el caso de losas alveolares pretensadas sin losa superior hormigonada en obra, para asegurar el trabajo conjunto de las losas y la transmisión transversal de cargas (sobre todo cuando existan cargas puntuales o lineales), se dispondrá un atado en la zona de unión de las losas a las vigas principales o muros.

## Artículo 21.º Enlaces y apoyos.

### 21.1 Generalidades.

En todo apoyo debe comprobarse que la capacidad a tracción de la armadura introducida, en el apoyo, es mayor que los esfuerzos producidos en la hipótesis de formación de una fisura arrancando de la cara del apoyo con inclinación de 45º.

### 21.2 Apoyos de forjados de viguetas.

Los nervios de un forjado deben enlazarse a la cadena de atado de un muro o a una viga de canto netamente mayor que el del forjado, denominándose apoyo directo (Figuras 21.2.a a 21.2.f), o a una viga plana, cabeza de viga mixta, brochal, etc., del mismo canto que el forjado denominándose apoyo indirecto (Figura 21.2.g a Figura 21.2.i). Las longitudes  $\ell_1$  y  $\ell_2$  indicadas en las Figuras vienen dadas, en general, por las expresiones:

a) para viguetas armadas:

$$\ell_1 = \frac{V_d}{A_s f_{yd}} \cdot \ell_b \leq 100 \text{ mm} \qquad \ell_2 = \frac{V_d - \frac{M_d}{0,9d}}{A_s f_{yd}} \cdot \ell_b \leq 50 \text{ mm}$$

siendo:

- $h_o$  el espesor mínimo de la losa superior hormigonada en obra sobre las piezas de entrevigado, en mm;
- $f_{yd}$  la resistencia de cálculo del acero, en N/mm<sup>2</sup>;
- $V_d$  el esfuerzo cortante máximo de cálculo correspondiente a una vigueta;
- $A_s$  el área de la armadura de tracción realmente dispuesta;
- $M_d$  el momento flector negativo de cálculo en apoyos continuos;
- $d$  el canto útil del forjado;
- $\ell_b$  la longitud básica de anclaje de las barras de la armadura de momentos positivos de la vigueta que entra en el apoyo.

b) para viguetas pretensadas:

$$\ell_1 = 100 \text{ mm}$$

$$\ell_2 = 60 \text{ mm}$$

En los casos de las Figuras 21.2.c), 21.2.f) y 21.2.g)  $\ell_1$  y  $\ell_2$  corresponden al caso de viguetas armadas y las longitudes de solape con la armadura de la vigueta en los apoyos extremos,  $\ell'_1$  y en los apoyos interiores  $\ell'_2$  serán iguales a:

$$\ell'_1 = \frac{V_d}{\rho T_{rd}} \leq 100 \text{ mm}$$

$$\ell'_2 = \frac{V_d - \frac{M_d}{0,9d}}{\rho T_{rd}} \leq 60 \text{ mm}$$

siendo:

- $\rho$  el perímetro de cortante entre vigueta y hormigón en obra;
- $T_{rd}$  la tensión rasante de cálculo.

### 21.3 Apoyo de forjado de losas alveolares pretensadas.

El apoyo de las losas alveolares pretensadas en vigas o muros debe hacerse sobre una capa de mortero fresco de al menos 15 mm de espesor, o sobre bandas de material elastomérico o apoyos individuales, situadas sobre cada nervio de la losa. No se permitirá apoyar directamente las losas alveolares pretensadas sobre ladrillo, debiendo realizarse zunchos de hormigón armado para el apoyo.

Los apoyos pueden ser directos e indirectos.

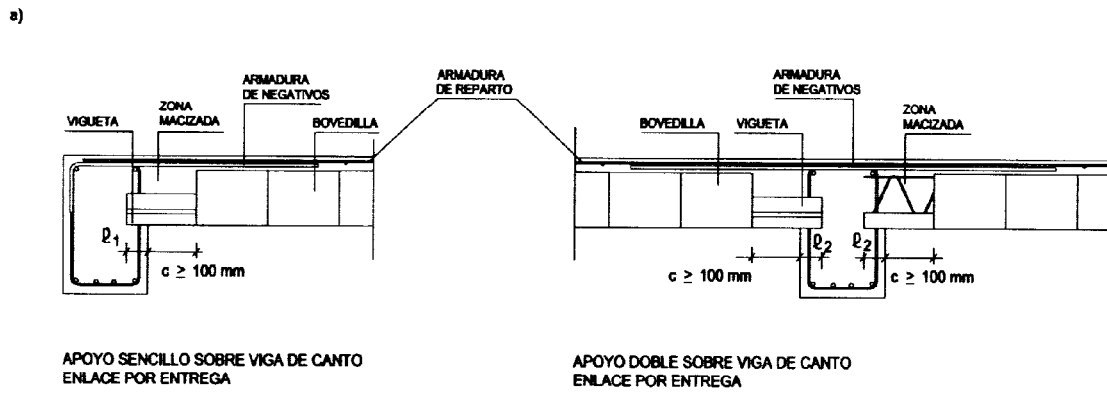


Figura 21.2.a

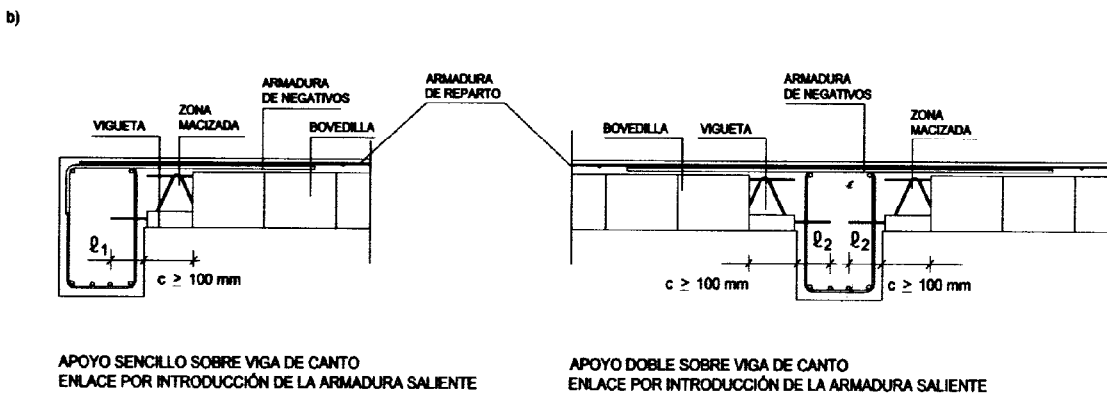


Figura 21.2.b

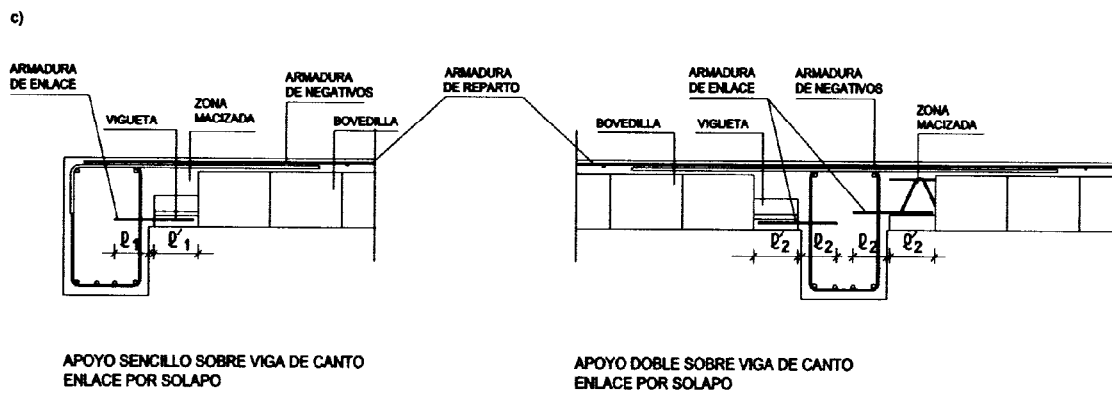


Figura 21.2.c

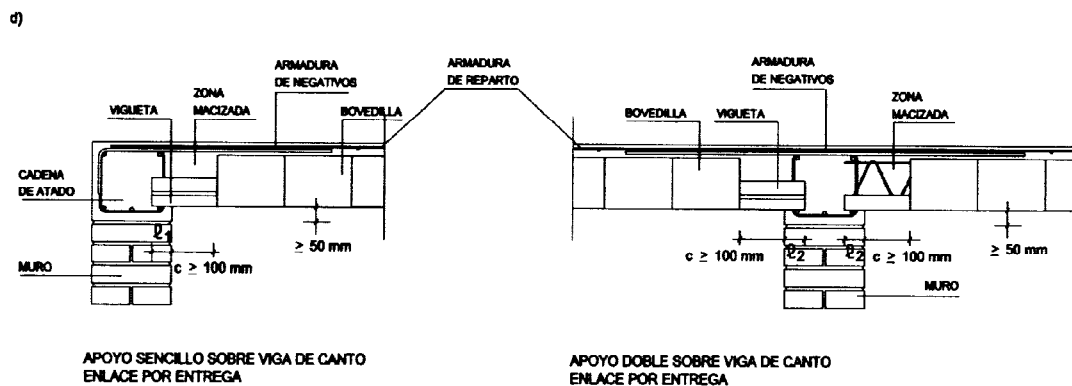


Figura 21.2.d

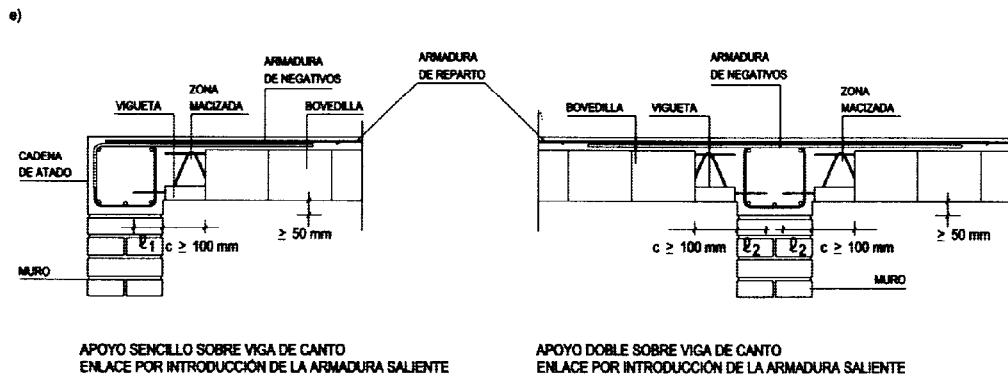


Figura 21.2.e

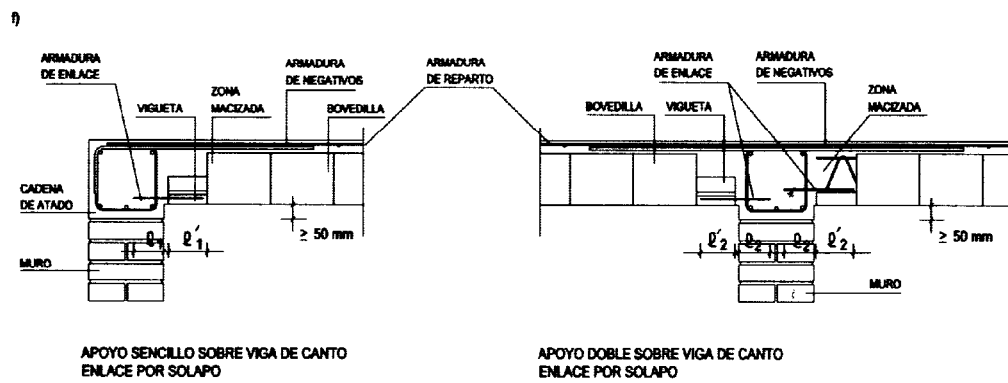


Figura 21.2.f

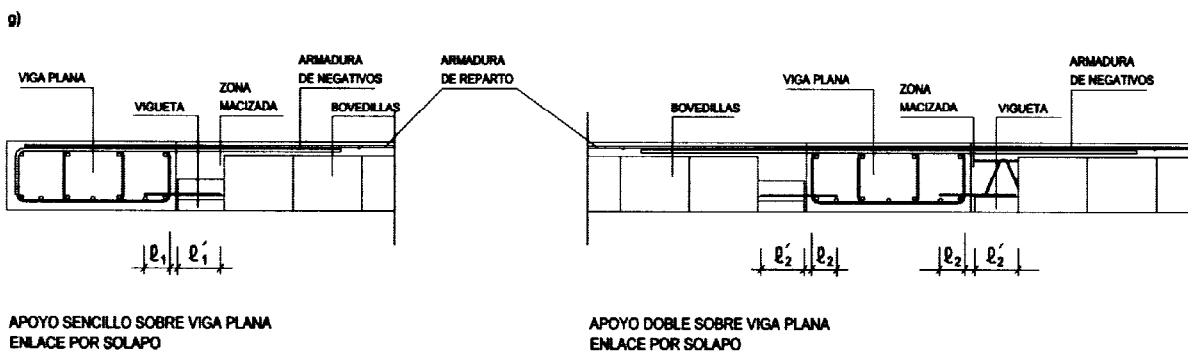


Figura 21.2.g

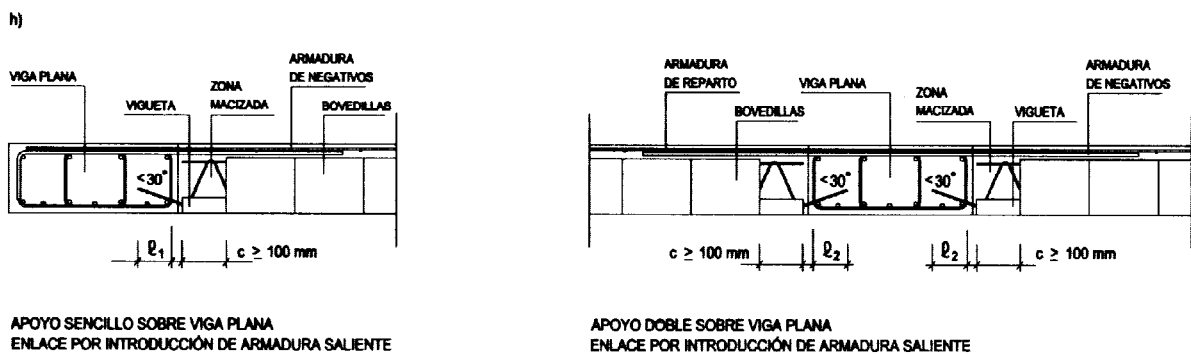


Figura 21.2.h

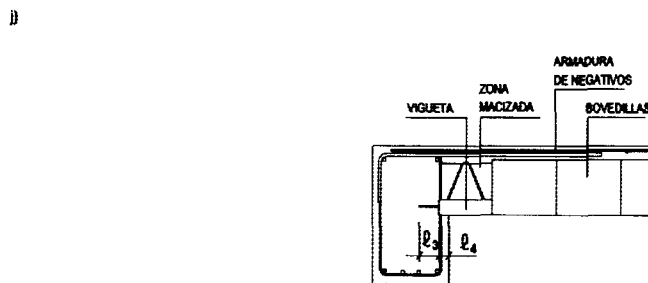
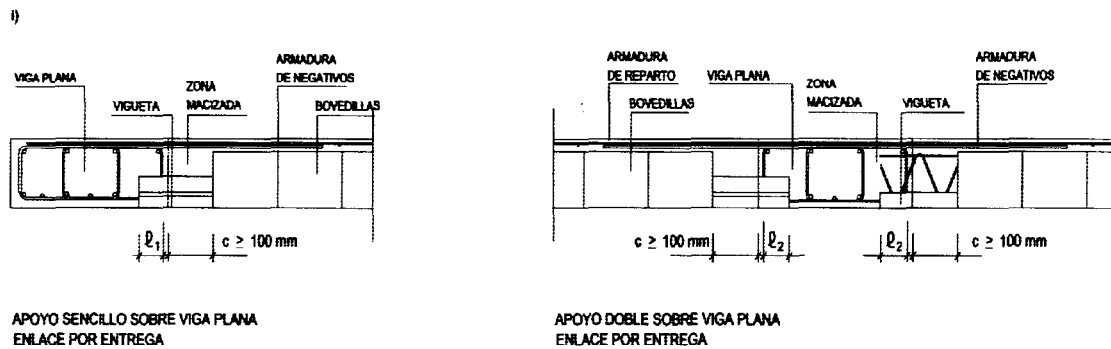


Figura 21.2 Apoyos directos e indirectos de viguetas

### 21.3.1 Apoyos directos.

Son los realizados según el esquema de la Figura 21.3.1.

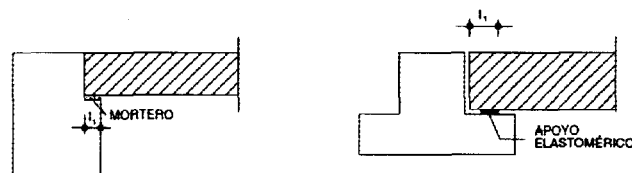


Figura 21.3.1 Apoyos directos de losas alveolares

En caso de apoyo directo, la entrega  $\ell$ , mínima nominal, medida desde el borde de la losa alveolar pretensada hasta el borde interior de apoyo real, se fijará de acuerdo con los siguientes criterios:

1) Si se cumplen simultáneamente todas las condiciones siguientes:

- las cargas de proyecto son repartidas y no existen cargas puntuales significativas ni cargas horizontales importantes incluidas las sísmicas,
- la sobrecarga es igual o menor que  $4 \text{ kN/m}^2$ ,
- el canto de la losa alveolar es igual o menor que  $30 \text{ cm}$ , y
- el cortante de cálculo  $V_d$  es menor que la mitad del resistido por la losa alveolar pretensada  $V_{u2}$  según el punto 14.2.2 a),

$$V_d \leq V_{u2} / 2$$

La entrega  $\ell$ , mínima nominal será de  $50 \text{ mm}$ , valor sobre el que se admite una tolerancia de  $-10 \text{ mm}$ , de modo que la entrega real en obra no será nunca menor que  $40 \text{ mm}$ ;

2) Si alguna de las anteriores condiciones no se cumple, el valor mínimo de  $\ell$ , deberá además determinarse comprobando que en la sección de borde interior del apoyo la armadura inferior activa, considerando un anclaje





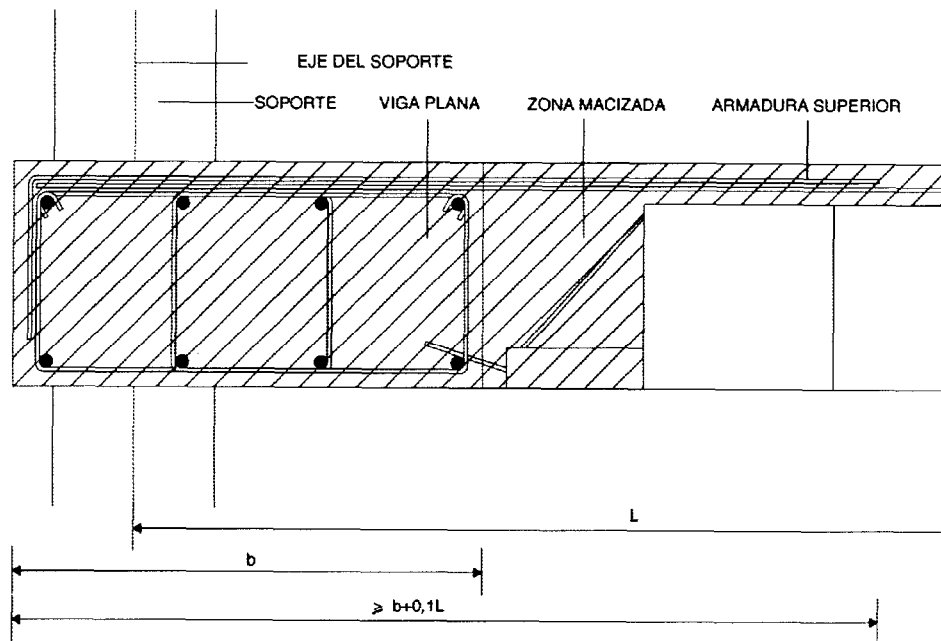


Figura 22.a Anclaje de armadura superior en extremo

En los forjados de losas alveolares pretensadas sin losa superior hormigonada en obra se dispondrá, cuando sea necesaria, la armadura superior en los alveolos que habrán sido preparados adecuadamente eliminando el hormigón de la parte superior en una longitud igual o mayor que la de las barras y posteriormente rellenos (Figura 22.b).

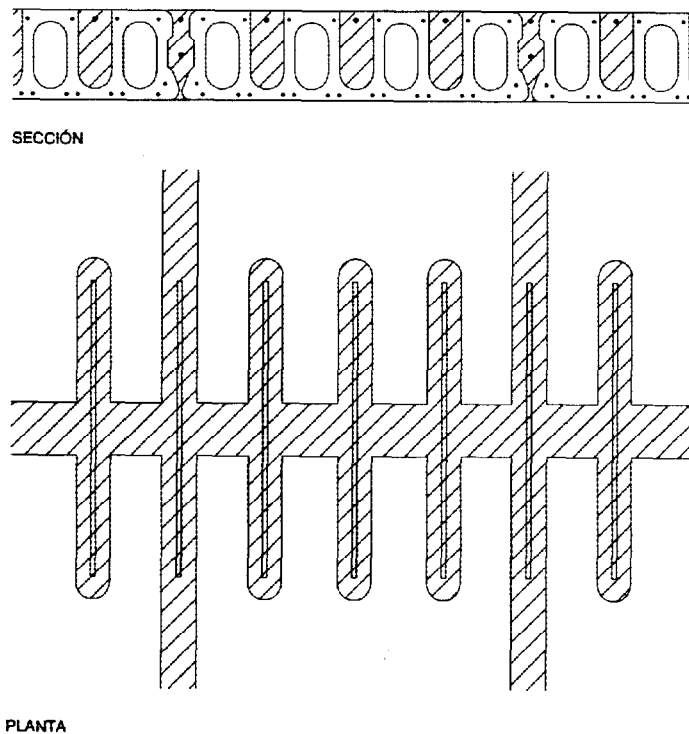


Figura 22.b Armadura superior en losas alveolares pretensadas

### Artículo 23.º *Enfrentamiento de nervios.*

Cuando se tenga en cuenta la continuidad de los forjados, los nervios o viguetas se dispondrán enfrentados, pero puede admitirse una desviación  $c$  menor que la distancia recta entre testas  $s$  en apoyos interiores, y hasta 5 cm en apoyos de voladizo (Figura 23.a).

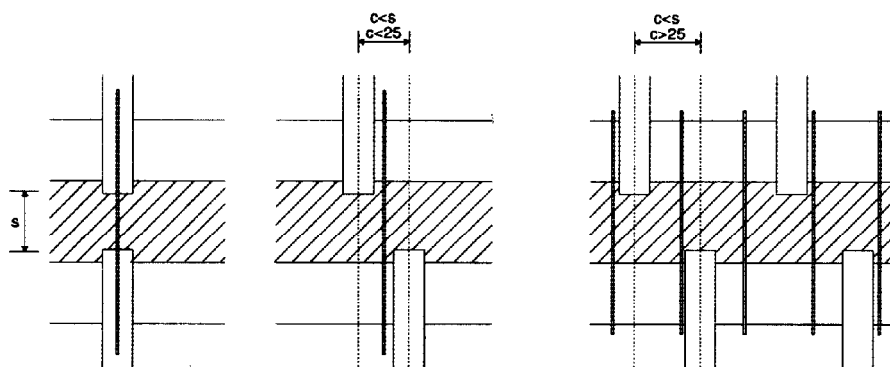


Figura 23.a Enfrentamiento de nervios

En los casos en los que un forjado acometa a otro perpendicularmente, su armadura superior se anclará por prolongación recta (Figura 23.b). Cuando un voladizo tenga nervios perpendiculares a los del tramo adyacente, su armadura superior se anclará por prolongación recta una longitud no menor que la longitud del voladizo ni a dos veces el intereje.

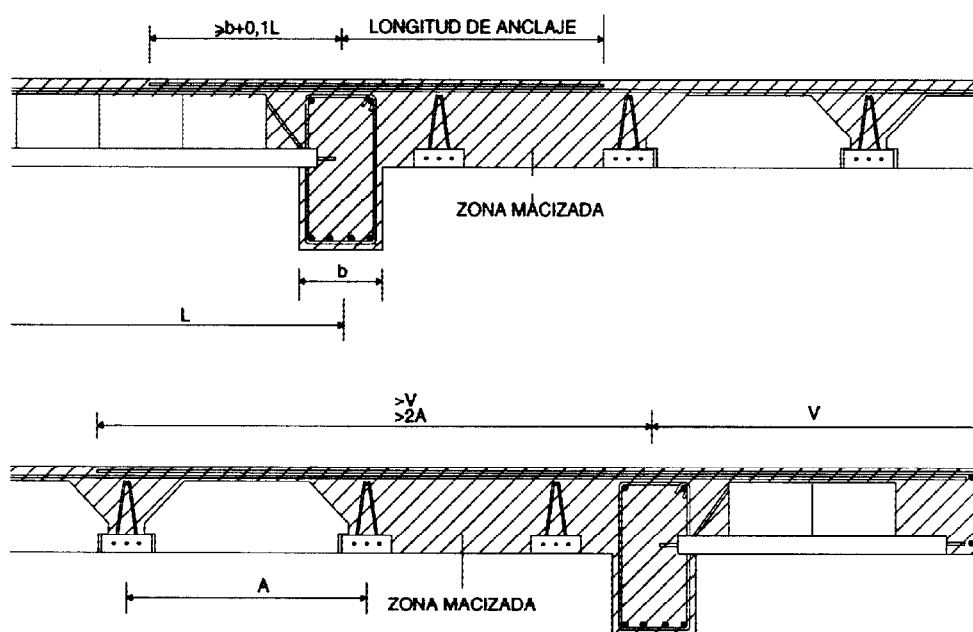


Figura 23.b Encuentro entre forjados perpendiculares

En ambos casos, se garantizará la resistencia a compresión de la parte inferior del forjado macizando las partes necesarias o con disposiciones equivalentes (Figura 23.b).

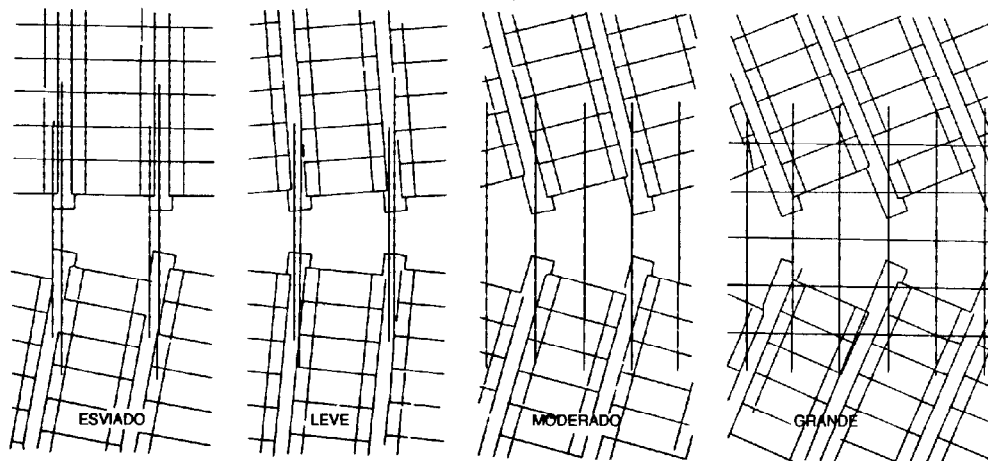


Figura 23.c Encuentro oblicuo de viguetas

Si las viguetas acometen oblicuamente al apoyo, para ángulos pequeños, por ejemplo menores de 22°, la armadura calculada (teniendo en cuenta que pierde eficacia con el coseno al cuadrado del ángulo) se puede disponer según la bisectriz de ambas direcciones. Si el ángulo fuese mayor resulta aconsejable disponer una cuadrícula, cuya sección, en cualquiera de las dos direcciones, sea igual a la teóricamente necesaria (Figura 23.c).

## CAPÍTULO VI

### Ejecución

#### Artículo 24.º *Transporte, descarga y manipulación.*

Se seguirán las instrucciones indicadas por cada fabricante para la manipulación, a mano o con medios mecánicos, de las viguetas y losas alveolares pretensadas. Si alguna resultase dañada afectando a su capacidad portante deberá desecharse.

#### Artículo 25.º *Acopio en obra.*

Las viguetas y losas alveolares pretensadas se apilarán limpias sobre durmientes, que coincidirán en la misma vertical, con vuelos, en su caso, no mayores que 0,50 m, ni alturas de pilas superiores a 1,50 m, salvo que el fabricante indique otro valor.

#### Artículo 26.º *Apuntalado.*

Se dispondrán durmientes de reparto para el apoyo de los puntales. Si los durmientes de reparto descansan directamente sobre el terreno, habrá que cerciorarse de que no puedan asentar en él.

Los puntales se arriostrarán en las dos direcciones, para que el apuntalado sea capaz de resistir los esfuerzos horizontales que puedan producirse durante la ejecución de los forjados.

En caso de forjados de peso propio mayor que 3 kN/m<sup>2</sup> o cuando la altura de los puntales sea mayor que 4 m, se realizará un estudio detallado de los apuntalados, que figurará en el proyecto.

Las sopandas se colocarán a las distancias indicadas en los planos de ejecución del forjado de acuerdo con lo indicado en el apartado 16.1.

En los forjados de viguetas armadas se colocarán los apuntalados nivelados con los apoyos y sobre ellos se colocarán las viguetas. En los forjados de viguetas pretensadas se colocarán las viguetas ajustando a continuación los apuntalados. Los puntales deberán poder transmitir la fuerza que reciban y, finalmente, permitir el desapuntalado con facilidad.

#### Artículo 27.º *Colocación de las viguetas y piezas de entrevigado.*

Una vez niveladas las sopandas, se procederá a la colocación de las viguetas con el interese que se indica en los planos, mediante las piezas de entrevigado extremas. Finalizada esta fase, se ajustarán los puntales y se procederá a la colocación de las restantes piezas de entrevigado.

#### Artículo 28.º *Colocación de las armaduras.*

La armadura de negativos se colocará preferentemente bajo la armadura de reparto. Podrá colocarse por encima de ella, siempre que ambas cumplan las condiciones requeridas para los recubrimientos y esté debidamente asegurado el anclaje de la armadura de negativos sin contar con la armadura de reparto.

En los forjados de losas alveolares pretensadas, las armaduras de continuidad y las de la losa superior hormigonada en obra, se mantendrán en su posición mediante los separadores necesarios. La calidad de los separadores y la distancia máxima entre los mismos serán conformes con lo establecido en los apartados 37.2 y 66.2 de la Instrucción EHE.

El recubrimiento de cualquier armadura respecto a las piezas de entrevigado debe fijarse en la hipótesis de que su interior corresponde a la clase de exposición I.

#### Artículo 29.º *Hormigonado en obra.*

Antes de hormigonar se comprobará que no existen elementos extraños, como barro, trozos de madera, etc. y se regará abundantemente, en especial si se utilizan piezas de entrevigado cerámicas.

El hormigón vertido en obra, tanto en relleno de nervios o juntas como en la losa superior de hormigón, debe ser dosificado y puesto en obra de manera adecuada, al objeto de obtener un hormigón suficientemente compacto, resistente y durable.

El hormigonado de los nervios o juntas y la losa superior se realizará simultáneamente, compactando con medios adecuados a la consistencia del hormigón. En los forjados de losas alveolares pretensadas se asegurará que la junta quede totalmente rellena.

En el momento del hormigonado, las superficies de las piezas prefabricadas que van a quedar en contacto con el hormigón vertido en obra deben estar exentas de polvo y convenientemente humedecidas para garantizar la adherencia entre los dos hormigones.

En el caso de losas alveolares pretensadas, la compactación del hormigón de relleno de las juntas se realizará con un vibrador que pueda penetrar en el ancho de las juntas.

#### **Artículo 30.º *Curado del hormigón.***

Debe realizarse de acuerdo con lo establecido en el artículo 74.º de la Instrucción EHE.

#### **Artículo 31.º *Desapuntalado.***

Los plazos de desapuntalado serán los prescritos en el artículo 75.º de la Instrucción EHE. Para modificar dichos plazos, el Constructor redactará un plan de desapuntalado acorde con los medios materiales disponibles, debidamente justificado y establecerá los medios de control y seguridad apropiados que someterá a la aprobación de la Dirección Facultativa.

El orden de retirada de los puntales será desde el centro del vano hacia los extremos y en el caso de voladizos del vuelo hacia el arranque. No se entresacarán ni retirarán puntales sin la autorización previa de la Dirección Facultativa.

No se desapuntalará de forma súbita y se adoptarán precauciones para impedir el impacto de las sopandas y puntales sobre el forjado.

#### **Artículo 32.º *Realización de tabiques divisorios rígidos.***

En la ejecución de elementos divisorios constituidos por tabiques rígidos, se adoptarán las soluciones constructivas que sean necesarias para minimizar el riesgo de aparición de daños en los tabiques ante el apoyo del forjado y la transmisión de cargas de los pisos superiores a través de los tabiques.

## **CAPÍTULO VII**

### **Control**

#### **Artículo 33.º *Bases generales del control de calidad.***

El control de recepción de los elementos resistentes y piezas de entrevigado que se establece en esta Instrucción con carácter preceptivo tiene por objeto garantizar que los diversos elementos utilizados en la construcción del forjado se ajustan al proyecto y a las prescripciones de esta Instrucción.

#### **Artículo 34.º *Control de recepción de elementos resistentes y piezas de entrevigado.***

##### **34.1 Generalidades.**

Corresponde a la Dirección Facultativa la responsabilidad de asegurar la realización del control de recepción, conforme a lo establecido en el proyecto.

A efectos del control de recepción de los elementos resistentes prefabricados constitutivos de forjados, se establecen los siguientes niveles:

- control a nivel intenso.
- control a nivel normal.

El control de recepción incluirá un control documental de cada suministro que llegue a obra, conforme a lo establecido en el apartado 34.2, y un control de los recubrimientos conforme a lo establecido en el apartado 34.3.

##### **34.2 Control documental.**

Antes de la recepción de los elementos constitutivos de los forjados (viguetas, losas alveolares pretensadas, piezas de entrevigado, etc.), se solicitarán del constructor las autorizaciones de uso de los forjados y se comprobará que éstas están vigentes en la fecha de comienzo de construcción de los forjados y que las características físico-mecánicas del tipo elegido son iguales o superiores a las prescritas en el proyecto de ejecución del edificio.

En cada suministro que llegue a obra, se harán las verificaciones siguientes:

a) para elementos resistentes se comprobará que:

- las viguetas o losas alveolares pretensadas lleven marcas que permitan la identificación del fabricante, tipo de elemento, fecha de fabricación y longitud del elemento, y que dichas marcas coinciden con los datos que deben figurar en la hoja de suministro;
- las características geométricas y de armado del elemento resistente cumplen las condiciones reflejadas en la Autorización de Uso y coinciden con las establecidas en los planos de los forjados del proyecto de ejecución del edificio;
- los recubrimientos mínimos de los elementos resistentes cumplen las condiciones señaladas en el apartado 34.3, con respecto al que consta en las autorizaciones de uso;
- certificado al que se hace referencia en el punto e) del apartado 3.2;
- en su caso, conforme a lo establecido en los apartados 14.2.1 y 14.3, certificados de garantía a los que se hace referencia en los Anejos 5 y 6.

b) para piezas de entrevigado se comprobará que:

- las características geométricas de las piezas de entrevigado cumplen las condiciones reflejadas en la Autorización de Uso y coinciden con las establecidas en los planos de los forjados del proyecto de ejecución del edificio;
- la certificación documental del fabricante basada en ensayos sobre el cumplimiento de carga de rotura a flexión, según apartado 11.1, y asimismo, si la pieza de entrevigado es cerámica, de la expansión por humedad según apartado 11.1;
- la garantía documental del fabricante, basada en ensayos, de que su comportamiento de reacción al fuego alcance al menos una clasificación M1, de acuerdo con UNE 23727:90, en el caso de que las piezas de entrevigado no sean cerámicas o de hormigón.

Lo anterior se entenderá sin perjuicio de las facultades de la Dirección Facultativa para exigir las comprobaciones que estime convenientes.

#### 34.3. Control de los recubrimientos de los elementos resistentes prefabricados.

El control del espesor de los recubrimientos se efectuará antes de la colocación de los elementos resistentes. En el caso de armaduras activas, la verificación del espesor del recubrimiento se efectuará visualmente, midiendo la posición de las armaduras en los correspondientes bordes del elemento. En el caso de armaduras pasivas, se procederá a repicar el recubrimiento de cada elemento que compone la muestra en, al menos, tres secciones de las que una deberá ser la sección central. Una vez repicada se desechará la correspondiente vigueta.

En el caso de que los elementos resistentes estén en posesión de un distintivo oficialmente reconocido, se les eximirá de la verificación de espesores de recubrimiento, salvo indicación contraria de la Dirección Facultativa.

Para la realización del control, se dividirá la obra en lotes según la Tabla 34.1.

TABLA 34.1

Tipo de forjado	Tamaño del lote
Forjado interior.	500 m <sup>2</sup> de superficie, sin rebasar dos plantas.
Forjado de cubierta.	400 m <sup>2</sup> de superficie.
Forjado sobre cámara sanitaria.	300 m <sup>2</sup> de superficie.
Forjado exterior en balcones o terrazas.	150 m <sup>2</sup> de superficie, sin rebasar una planta.

##### 34.3.1 Control a nivel intenso.

Para cada uno de los lotes se seleccionará una muestra, compuesta por dos elementos prefabricados, sobre los que se efectuará la comprobación del recubrimiento real que presentan las armaduras.

##### 34.3.2 Control a nivel normal.

Para cada uno de los lotes se seleccionará una muestra compuesta por un elemento prefabricado sobre el que se efectuará la comprobación del recubrimiento real que presentan las armaduras.

### 34.3.3 Criterios de valoración de los recubrimientos.

Se calculará para cada armadura la desviación  $\delta$  definida como:

$$\delta = r_{\min} - X_i$$

siendo :

- $r_{\min}$  el recubrimiento mínimo según el punto 13.3;  
 $X_i$  el valor mínimo del recubrimiento real obtenido en la armadura  $i$  del elemento.

El criterio de valoración para cualquier elemento resistente (vigüeta o losa alveolar pretensada) de la muestra consiste en comprobar el cumplimiento simultáneo de las condiciones siguientes:

- no presentar ninguna armadura con  $\delta > 3$  mm;
- presentar como máximo una armadura con  $\delta > 2$  mm.

### 34.4 Criterios de aceptación o rechazo.

Para aceptar un lote será condición imprescindible que las verificaciones definidas en el apartado 34.2 sean conformes. Además en función de los resultados del control de los recubrimientos se procederá como sigue:

- cuando todos los elementos de la muestra seleccionada cumplan los requisitos del apartado 34.3.1 se aceptará el lote;
- cuando algún elemento de la muestra no cumpla los criterios del apartado 34.3.1 se rechazará el lote.

### Artículo 35.º *Control del hormigón y armaduras colocados en obra.*

El control de estos materiales se efectuará según el nivel previsto en el proyecto, de acuerdo con las prescripciones de la Instrucción EHE, considerando estos materiales incluidos en los correspondientes lotes de la estructura.

Se desaconseja empleo de hormigones no fabricados en central debido a las dispersiones en la calidad del hormigón a que habitualmente conduce este sistema de fabricación. En caso de utilizarse convendrá extremar las precauciones en la dosificación, fabricación y control, que se ha de realizar de acuerdo a lo especificado en el apartado 69.3 de la Instrucción EHE.

Cuando el resto de la estructura sea de hormigón, armado o pretensado, los niveles de control establecidos para la recepción de los materiales y ejecución del forjado serán los mismos que los del resto de la estructura.

### Artículo 36.º *Control de la ejecución.*

El control de la ejecución se ajustará a lo especificado en el artículo 95.º de la Instrucción EHE. En particular, durante la ejecución del forjado se comprobarán los siguientes aspectos, los cuales quedarán reflejados en la inspección de control:

- los acopios cumplen las especificaciones del artículo 25.º,
- las vigüetas o losas alveolares pretensadas no presentan daños que afecten a su capacidad resistente,
- los enlaces o apoyos en las vigüetas o losas alveolares pretensadas son correctos,
- la ejecución de los apuntalados es correcta, con especial atención a la distancia entre sopandas, diámetros y resistencia de los puntales,
- la colocación de vigüetas coincide con la posición prevista en los planos,
- la longitud y diámetro de las armaduras colocadas en obra son las indicadas en los planos,
- la posición y fijación de las armaduras se realiza mediante la utilización de los separadores adecuados,
- las disposiciones constructivas son las previstas en el proyecto,
- se realiza la limpieza y regado de las superficies antes del vertido del hormigón en obra,
- el espesor de la losa superior hormigonada en obra coincide con los prescritos,
- la compactación y curado del hormigón son correctos,
- se cumplen las condiciones para proceder al desapuntalado,
- las tolerancias son las que figuran en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares de las obras, y
- cuando en el proyecto se hayan utilizado los coeficientes  $\gamma_g$  y  $\gamma_q$  diferentes de los de la Instrucción EHE que permite el artículo 6.º, se comprobará que cumplen las condiciones que se establecen en éste.

## ANEJOS

### Anejo 1

#### Normas UNE referenciadas

UNE 23727:1990	Ensayos de reacción al fuego de los materiales de construcción. Clasificación de los materiales utilizados en la construcción.
UNE 53981:1998	Plásticos. Bovedillas de poliestireno expandido (EPS) para forjados unidireccionales con viguetas prefabricadas.
UNE 67036:1999	Productos cerámicos de arcilla cocida. Ensayo de expansión por humedad.
UNE 67037:1999	Productos cerámicos de arcilla cocida. Ensayo de resistencia a flexión.

### Anejo 2

#### Reparto transversal de cargas lineales y puntuales en forjados de viguetas

En los forjados de viguetas habrá que tener en cuenta las cargas superficiales de peso propio del forjado, solado, revestimiento, tabiquería y sobrecarga de uso y, además, si existen, cargas lineales de muros y particiones pesadas (superiores a un tabicón) y, en su caso, cargas puntuales o localizadas.

En los forjados de cubierta habrá que considerar las cargas superficiales de peso propio del forjado, incluyendo rellenos o tableros con tabiques, solado o cobertura, aislamiento, revestimientos, sobrecarga de nieve o de uso si ésta es más desfavorable y, en su caso, la sobrecarga de viento. Además, se considerarán las cargas lineales, puntuales o localizadas si existen.

La tabiquería y los solados pueden considerarse como cargas de carácter permanente y por tanto, en general, no es preciso el estudio de su alternancia tramo a tramo.

El reparto de las cargas puntuales situadas sensiblemente en el centro de la longitud de una vigueta interior, o lineales paralelas a las mismas, en ausencia de cálculos más precisos, puede obtenerse de forma simplificada multiplicando la carga por los coeficientes indicados en la tabla siguiente:

#### Coeficientes de reparto transversal de cargas puntuales o lineales

Vigueta	1	2	3	4
Coeficiente	0,30	0,25	0,15	0

En este caso la losa superior hormigonada en obra debe armarse para resistir un momento igual a:

$$0,3 p_d \quad \text{para carga lineal;}$$

$$0,125 P_d \quad \text{para carga puntual;}$$

siendo:

$M_d$  el momento, correspondiente a la vigueta, en mkN/m;

$P_d$  la carga puntual de cálculo, en kN;

$p_d$  la carga lineal de cálculo, en kN/m, por m de vigueta.

Esta armadura debe extenderse en la dirección de las viguetas hasta una distancia de  $L/4$  a partir de la carga puntual y la misma longitud a partir de los extremos de la zona cargada en el caso de carga lineal y en la dirección perpendicular a ellas hasta alcanzar la vigueta 4 de la Figura A2.

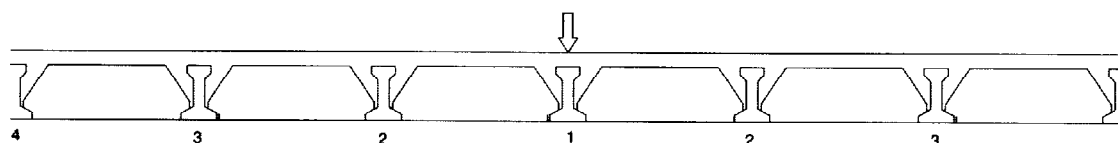


Figura A 2 Reparto transversal de cargas puntuales o lineales



### Anejo 3

#### *Reparto transversal de cargas lineales y puntuales en forjados de losas alveolares pretensadas*

##### 1. Método de cálculo.

Se pueden emplear dos métodos de cálculo, con distribución de la carga según la teoría de la elasticidad y sin distribución de carga.

El primer método sólo debe emplearse cuando se limitan los desplazamientos laterales de acuerdo con lo estipulado en el apartado 3 de este Anejo. En caso contrario, el cálculo deberá realizarse según el segundo método.

Las cargas lineales paralelas al vano de los elementos y no mayores de 5 kN/m pueden sustituirse por una carga distribuida uniformemente sobre un ancho igual a un cuarto de la luz de vano a ambos lados de la carga. Si el ancho disponible próximo a la carga es menor que un cuarto de la luz, la carga debería distribuirse sobre un ancho igual al disponible en un lado, más un cuarto de la luz en el otro lado.

##### 1.1 Distribución de la carga según la teoría de la elasticidad.

Los elementos se consideran como losas isótropas o anisótropas y las juntas longitudinales como rótulas (bisagras).

El porcentaje de la carga sobre el elemento directamente cargado, obtenida del cálculo, debe multiplicarse, en Estado Límite Último, por un coeficiente  $\gamma = 1,25$ ; el porcentaje total de la carga transmitido a través de los elementos adyacentes puede reducirse en la misma cuantía, distribuyéndose entre los distintos elementos en función de sus correspondientes porcentajes de carga.

Como alternativa a la determinación analítica, la distribución transversal de carga puede obtenerse por medio de gráficos basados en la teoría de la elasticidad. En los apartados 4 y 5 se suministran gráficos para losas de ancho  $b = 1,20$  m.

##### 1.2 Sin distribución de carga.

Cada elemento debe ser proyectado considerando que todas las cargas actúan directamente sobre él, suponiendo cortante nulo en las juntas transversales. En este caso, la distribución de la carga transversal y los momentos torsores asociados pueden ignorarse en Estado Límite Último. Sin embargo, en Estado Límite de Servicio se deben cumplir los requisitos establecidos en los apartados 6.3.5 y 6.3.7. El ancho efectivo debe limitarse de acuerdo con el apartado 2 de este Anejo.

##### 2. Limitación del ancho efectivo.

Si el cálculo en Estado Límite Último se basa en el segundo método definido en el apartado 1 (sin distribución de carga), para cargas puntuales, y para cargas lineales con un valor característico mayor que 5 kN/m, el ancho efectivo máximo debe limitarse al ancho de la carga aumentado por:

- en el caso de cargas en el interior del forjado, el doble de la distancia que haya entre el centro de la carga y el apoyo, pero nunca más de la mitad del ancho del elemento cargado.
- en el caso de cargas sobre bordes longitudinales libres, una vez la distancia entre el centro de la carga y el apoyo, pero no más de la mitad del ancho del elemento cargado.

##### 3. Limitación de desplazamientos laterales.

Si el proyecto se basa en el método definido en el apartado 1 por distribución de la carga según la teoría de la elasticidad, los desplazamientos laterales deben limitarse mediante:

- las partes que rodean la estructura,
- la fricción en los apoyos,
- la armadura en las juntas transversales, y
- los atados perimetrales.

En situaciones sin riesgo sísmico, de acuerdo con lo establecido en la Norma de Construcción Sismorresistente, sólo se puede contar con la fricción en los apoyos, si se prueba que es posible desarrollar la fricción suficiente. Al calcular las fuerzas resistentes de fricción, se debe considerar la forma real de apoyo.

La resistencia requerida debe ser igual, al menos, a los esfuerzos cortantes verticales totales que tienen que transmitirse a través de las juntas longitudinales.

4. Coeficientes de distribución de carga para cargas en centro y bordes.
  - a) En las Figuras A.3.1, A.3.2 y A.3.3, se incluyen gráficos con los porcentajes de carga para una carga centrada y de borde. Una carga puede considerarse como carga centrada si la distancia desde la misma al borde del área de forjado es  $\geq 2,5$  veces el ancho de losa alveolar pretensada ( $\geq 3$  m). Para cargas entre el borde y el centro, los porcentajes de carga se pueden obtener por interpolación lineal.
  - b) En las Figuras A.3.2 y A.3.3, se incluyen gráficos con los coeficientes de distribución para cargas puntuales en centro de vano ( $l/x = 2$ ). Para cargas próximas al apoyo,  $l/x \geq 20$ , el porcentaje de carga asignado a la losa directamente cargada debe tomarse igual al 100 % y los de las losas no directamente cargadas igual al 0 %. Para valores de  $l/x$  entre 2 y 20, los porcentajes de carga se pueden obtener por interpolación lineal.
  - c) Al determinar los porcentajes de carga, las cargas lineales con una longitud mayor de la mitad de la luz se deben considerar como cargas lineales. Las cargas lineales con una longitud menor que la mitad de la luz se deben considerar cargas puntuales si el centro de la carga está en la mitad del vano y cargas puntuales en el centro de la carga si el centro de la misma no está en la mitad del vano.
  - d) En los forjados de losas alveolares pretensadas sin losa superior hormigonada en obra, los porcentajes de la carga, determinados por los gráficos, se deben modificar, en Estado Límite Último, como sigue:
    - el porcentaje de la carga sobre el elemento directamente cargado se deberá multiplicar por un coeficiente  $\gamma_M = 1,25$ ;
    - los porcentajes totales de los elementos no cargados directamente pueden reducirse en la misma cantidad según la relación de sus porcentajes de carga.

Los esfuerzos cortantes en las juntas deben calcularse a partir de los porcentajes de carga y se considerarán distribuidos linealmente. Para cargas puntuales no situadas en la mitad del vano y para cargas lineales que, según el punto c), tienen que considerarse como puntuales, la longitud efectiva de la junta que transmita el esfuerzo cortante se deberá escoger igual al doble de la distancia desde el centro de la carga al apoyo más próximo (véase Figura A.3.4).

- e) Los esfuerzos cortantes longitudinales en cada junta se pueden obtener a partir de los porcentajes de carga dados en los gráficos. A partir de estos cortantes se pueden obtener los momentos torsores en cada elemento.

Si los desplazamientos laterales se limitan según el punto 3), los momentos torsores se pueden dividir por un factor 2.

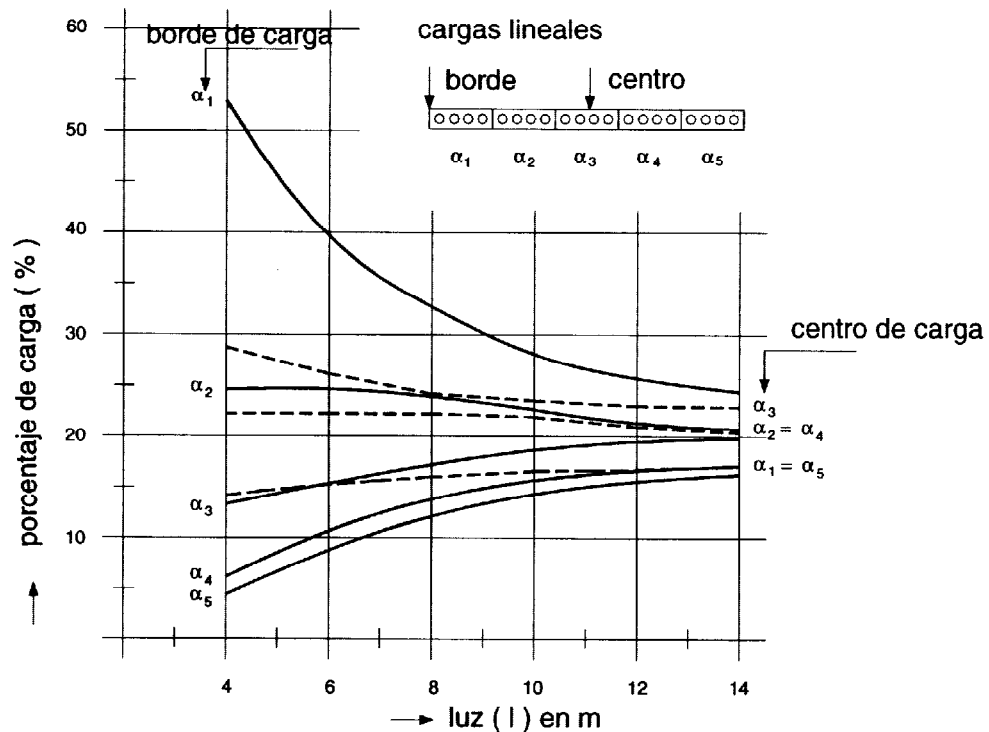


Figura A.3.1 Factores de distribución de carga para cargas lineales

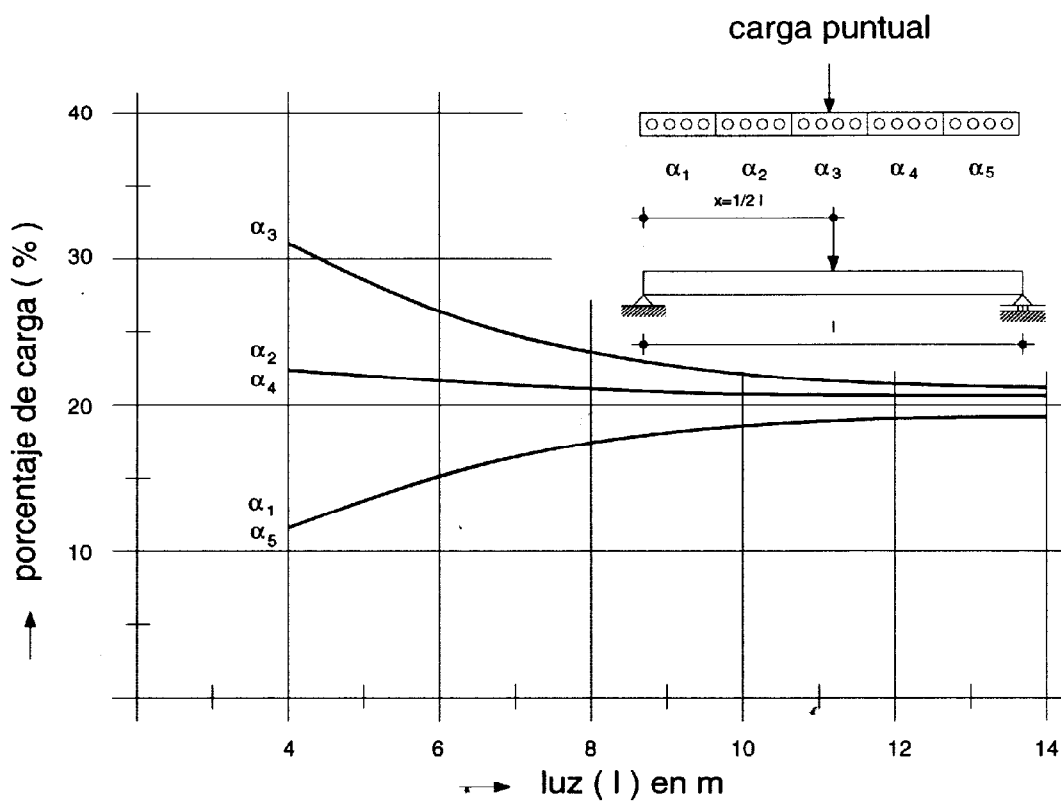


Figura A.3.2 Factores de distribución de carga para cargas puntuales centradas en el ancho

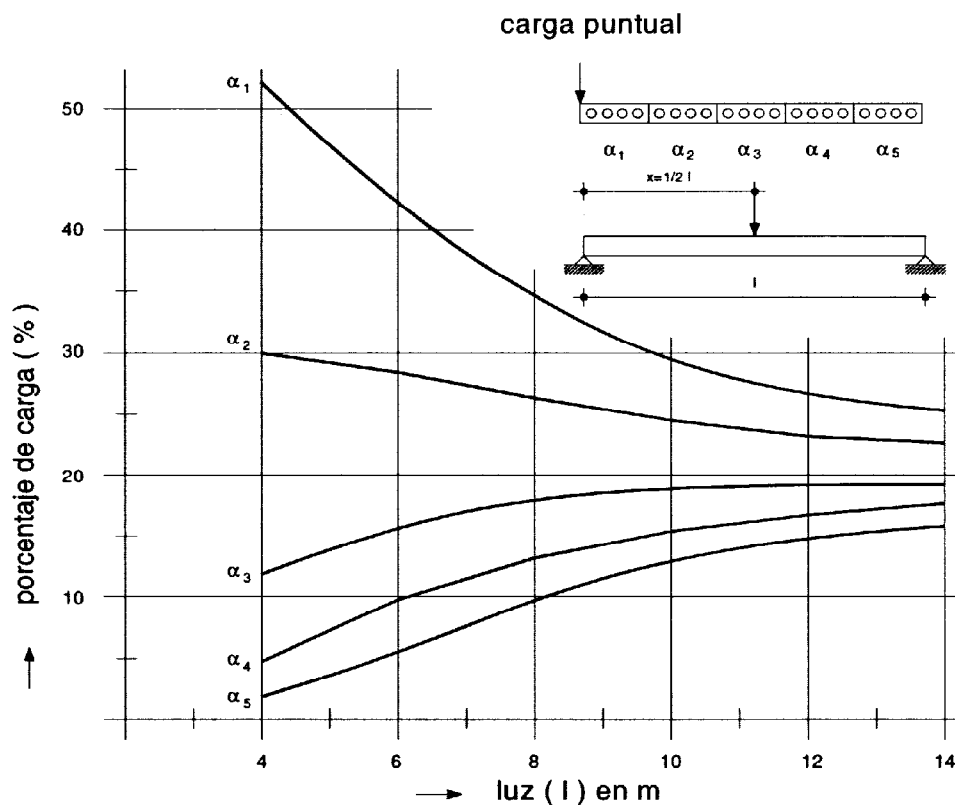


Figura A.3.3 Factores de distribución de carga para cargas puntuales en el borde

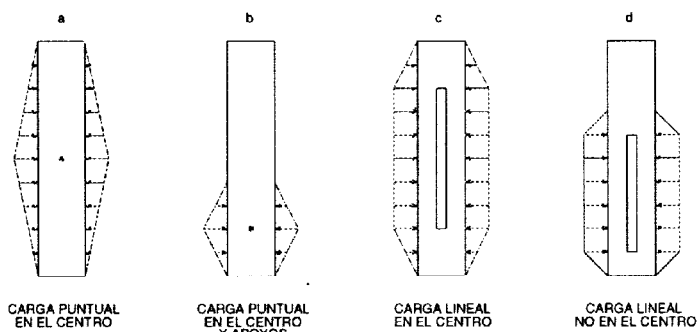


Figura A.3.4 Formas supuestas de las fuerzas cortantes verticales en las juntas

5. Coeficientes de distribución de carga para tres bordes apoyados.

- a) Para cargas lineales y puntuales, las fuerzas de reacción pueden basarse en las Figuras A.3.5 y A.3.6. Si el número de elementos  $n$  es mayor que 5, la fuerza de reacción debe multiplicarse por el factor (véanse Figuras A.3.5 y A.3.6):

$$1 - \left( \frac{n-5}{50} \frac{s}{b} \right)$$

siendo  $s$  la distancia de la carga desde el apoyo, en mm.

En el caso de cuatro bordes apoyados, la fuerza de reacción del apoyo más próximo a la fuerza debe multiplicarse por el factor:

$$\frac{nb - s}{nb}$$

- b) Si la distancia entre la carga y el apoyo longitudinal es mayor que 4,5 veces el ancho de losa ( $b$ ), la fuerza de reacción puede tomarse igual a cero.
- c) Al determinar las fuerzas de reacción, las cargas lineales con una longitud mayor que la mitad de la luz se deben considerar como cargas lineales. Las cargas lineales con una longitud menor que la mitad de la luz se considerarán como cargas lineales si el centro de la carga está en la mitad del vano y como cargas puntuales si el centro de la carga no está en la mitad del vano. La fuerza de reacción de la Figura A.3.5 puede multiplicarse por la relación de la longitud de la carga con la longitud del vano.
- d) Para cargas puntuales en la mitad del vano,  $\ell/x = 2$  las fuerzas de reacción se pueden obtener de la Figura A.3.6. Para cargas cerca del apoyo,  $\ell/x \geq 20$ , debe tomarse el valor cero para la fuerza de reacción; para valores de  $\ell/x$  entre 2 y 20 deben calcularse por interpolación lineal. La longitud de la fuerza de reacción debe tomarse igual al doble de la distancia entre el centro de la carga y el apoyo más próximo. La magnitud de la fuerza es el valor de la Figura A.3.6 multiplicado por  $2x/\ell$ .
- e) La distribución transversal causada por la fuerza de reacción debe calcularse según el punto 4) considerando la fuerza de reacción como una carga en borde (negativa).

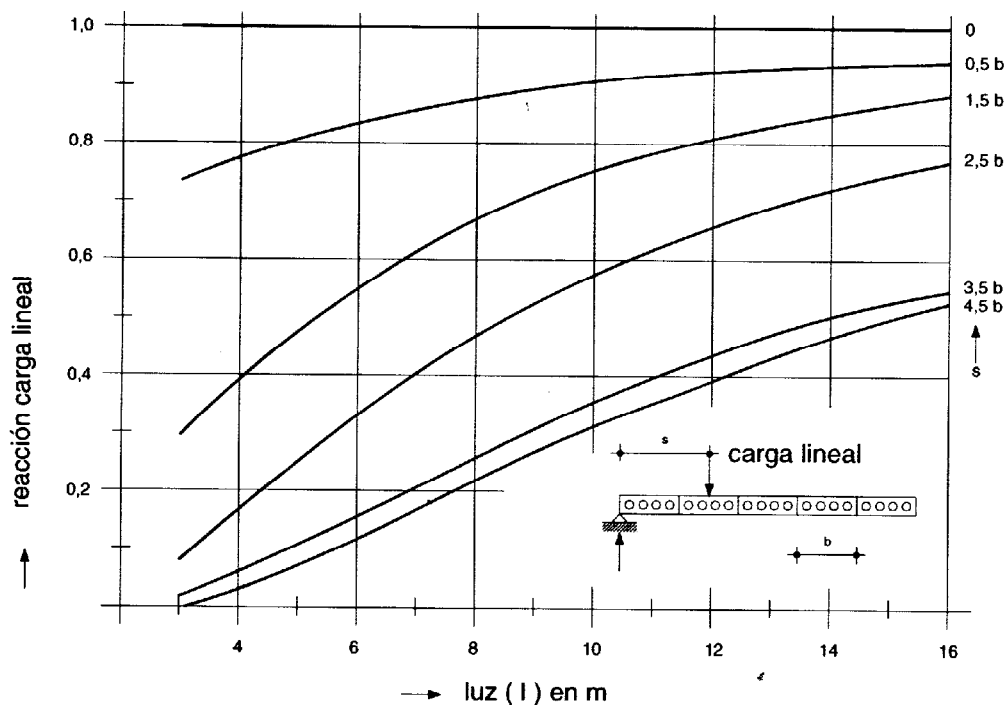


Figura A.3.5 Fuerza de reacción en el apoyo longitudinal debida a una carga lineal

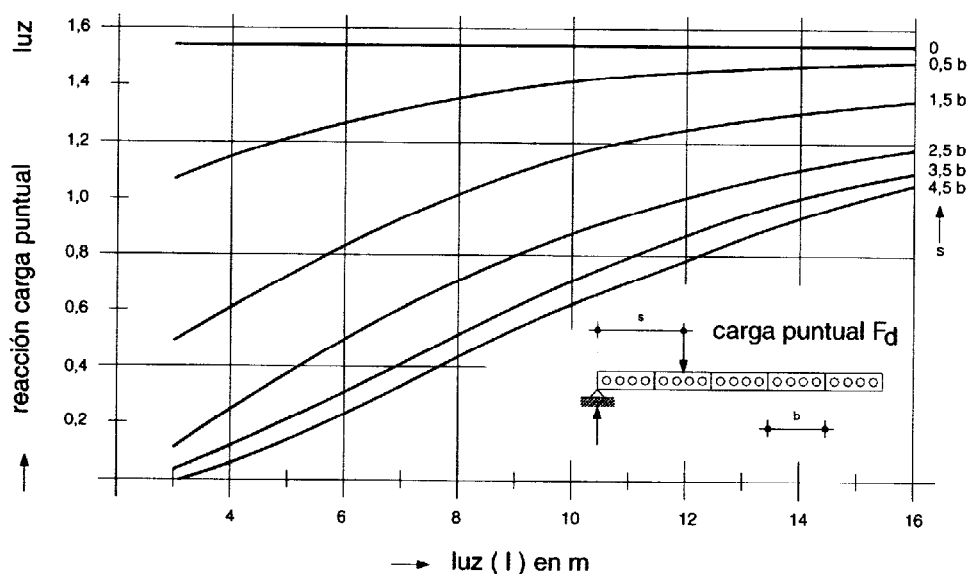


Figura A.3.6 Fuerza de reacción en el apoyo longitudinal debida a una carga puntual en el centro de vano

## Anejo 4

### *Coacciones no deseadas en losas alveolares pretensadas. Armadura mínima en apoyos simples*

#### 1. Generalidades.

En el cálculo de las losas alveolares pretensadas y en el detalle de sus uniones en apoyos deben considerarse las coacciones no deseadas y sus momentos negativos implícitos con el fin de evitar posibles fisuras derivadas de la coacción al giro, que pudieran iniciar un fallo por cortante en las proximidades del apoyo.

Se pueden usar los siguientes métodos para considerar los momentos negativos debidos a coacciones no deseadas:

- proyectar la unión de tal manera que esos momentos no se produzcan.
- concebir y calcular la unión de modo que las fisuras que se produzcan no den lugar a situaciones peligrosas.
- considerar en el cálculo los momentos negativos debidos a las coacciones no deseadas. A continuación se detalla este procedimiento.

## 2. Proyecto mediante cálculo.

Se puede adoptar el siguiente procedimiento de cálculo:

- En los extremos de los apoyos, que se han supuesto apoyos libres, a menos que por la naturaleza del apoyo no se puedan desarrollar momentos de ajuste, debe considerarse un momento flector negativo en el apoyo igual al menor de los valores siguientes:

$$M_{d,f} = M_{1d}/3$$

$$M_{d,f} = 2/3 N_{d,sup} a + \Delta M$$

con  $\Delta M$  igual al mayor valor de los dos valores siguientes:

$$\Delta M = f_{ct,d} W$$

$$\Delta M = f_{yd} A_{st} d + \mu_b N_{d,sup} h$$

Si la distancia entre los bordes extremos de las losas alveolares es menor que 50 mm  $\phi$  si la junta no está rellena, entonces  $\Delta M$  se tomará igual al menor de los dos valores siguientes:

$$\Delta M = \mu_b N_{d,sup} h$$

$$\Delta M = \mu_o N_{d,inf} h$$

siendo (véase también Figura A.4.1):

$M_{1d}$  el momento de cálculo máximo en el vano, igual a  $\gamma_G (M_G - M_{pp}) + \gamma_Q M_O$

con:

$M_G$  el momento máximo característico en el vano debido a acciones permanentes.

$M_O$  el momento máximo característico en el vano debido a acciones variables.

$M_{pp}$  el momento máximo característico en el vano debido al propio peso del forjado.

$a$  la longitud del apoyo como se muestra en la figura.

$A_s$  área de la sección transversal de la armadura de conexión.

$d$  la distancia desde la fibra inferior de la losa hasta la posición de la armadura de conexión.

$h$  canto de la losa.

$f_{yd}$  la resistencia de cálculo del acero.

$N_{d,sup}$  el valor de cálculo del esfuerzo normal total en la cara superior del forjado.

$N_{d,inf}$  el valor de cálculo del esfuerzo normal total en la cara inferior del forjado.

$W$  el módulo resistente de la sección de hormigón vertido en obra entre los extremos de los elementos.

$\mu_o$  el coeficiente de fricción en el lado inferior de la losa.

$\mu_b$  el coeficiente de fricción en el lado superior de la losa.

$\mu_o$  y  $\mu_b$  tomados como:

0,8 para hormigón sobre hormigón.

0,6 para hormigón sobre mortero.

0,25 para hormigón sobre caucho o neopreno.

0,15 para hormigón sobre fieltro de fibras.

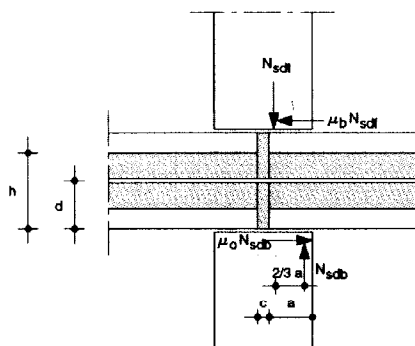


Figura A.4.1 Momentos no deseados por deformación impedida

- b) No es necesario disponer armadura para absorber los momentos debidos a la coacción al giro si se cumple:

$$M_{df} \leq 0,5 (1,6 - h) f_{ct,d} W_t$$

siendo:

$h$  el canto de la losa, en m.

$W_t$  el módulo resistente de la losa respecto de la fibra superior.

Si no se cumple la condición anterior, los momentos negativos obtenidos  $M_{df}$  deben ser resistidos: en la junta entre losas opuestas, por armadura pasiva alojada en la losa superior hormigonada en obra o, si ésta no existe, en la junta longitudinal entre losas adyacentes o en alveolos macizados; en las secciones de losa alveolar pretensada se podrá tener en cuenta el efecto de la fuerza de transferencia de pretensado desarrollada por los alambres o cordones superiores.

Si en la sección situada a medio canto del borde libre de apoyo, el efecto del momento negativo  $M_{df}$  más el pretensado, desarrollado según se establece en el apartado 14.2.2 a), provoca tracciones mayores que  $f_{ct,d}$  en la fibra superior de la losa alveolar pretensada, además de la comprobación con momentos positivos y armaduras inferiores según 14.2.2 a) se realizará, para dicha sección, otra comprobación adicional, según 14.2.2 b) con momento negativo y armadura superior.

## Anejo 5

### *Ensayos de resistencia a esfuerzo cortante en forjados de viguetas sin armadura transversal*

#### 1. Condiciones generales para la aplicación de este Anejo.

Al objeto de comprobar que la resistencia a esfuerzo cortante de los forjados de viguetas es suficiente para poder aplicar la fórmula que se incorpora en el apartado 14.2.1,

$$V_{u2} = 0,32 b_0 d \sqrt{f_{cd}}$$

deberá cumplirse simultáneamente las condiciones siguientes:

- la tipología del forjado está comprendida entre las definidas en el apartado 2 de este Anejo,
- los elementos prefabricados (viguetas pretensadas) se suministrarán a obra con un certificado de garantía del fabricante, firmado por persona física, de que el control de producción de las piezas suministradas incluye la realización de ensayos de cortante, conforme con lo establecido en el apartado 3 del presente Anejo, y de acuerdo con el modelo establecido en el apartado 4 del mismo,
- la Dirección Facultativa podrá exigir los correspondientes informes de los ensayos relativos al control de producción realizados durante los dos últimos años.

En el caso de que los elementos prefabricados estén en posesión de un distintivo oficialmente reconocido, sólo será necesaria la verificación del cumplimiento de los puntos a) y c).

## 2. Tipologías de forjados.

La expresión de  $V_{u2}$  a la que hace referencia este Anejo sólo será aplicable a tipologías de forjados constituidos por viguetas pretensadas con cantos totales no superiores a 350 mm y con espesores mínimos de alma de la vigueta no superior a 60 mm.

## 3. Ensayos de cortante.

Los ensayos de cortante se realizarán conforme a lo establecido en los siguientes apartados:

### 3.1 Número de ensayos.

En el caso de emplearse forjados constituidos por dos nervios, se realizarán dos modelos de ensayo, para realizar dos ensayos por modelo, de dos de los cantos utilizados con el forjado, todo ello para cada tipo de forjado.

Pueden emplearse también, como procedimiento alternativo, forjados constituidos por nervios aislados formados por una sola vigueta, en cuyo caso se realizarán cuatro modelos de ensayo, para realizar dos ensayos por modelo, de dos de los cantos utilizados con el forjado, todo ello para cada tipo de forjado.

Los dos cantos de forjado a emplearse en los ensayos serán:

- el canto mínimo del forjado, no siendo nunca inferior a 200 mm.
- el canto máximo del forjado, no siendo nunca superior a 350 mm.

### 3.2 Modelo de ensayo.

El modelo estará constituido por dos viguetas con un intereje de 70 cm. Incluirá las piezas de aligeramiento entre las dos viguetas, que serán de poliestireno expandido o con molde recuperable que reproduzca la geometría del aligeramiento, así como en los laterales de las mismas, para reproducir dos nervios completos del forjado. Sus coacciones de apoyo serán de articulación mediante rótulas, una fija y otra deslizante, dispuestas bajo los nervios.

Alternativamente, se podrán utilizar también modelos con forjados constituidos por nervios aislados formados por una sola vigueta, en los cuales mediante moldes o piezas de aligeramiento análogas a las definidas anteriormente, se reproduzca adecuadamente la geometría del aligeramiento.

El dimensionamiento del modelo se hará para que no sea crítico el fallo por flexión o por rasante, permitiendo superar ampliamente la capacidad a cortante evaluada de acuerdo con la fórmula a la que hace referencia este Anejo, todo ello para el esquema de cargas que se establece en el siguiente punto.

El forjado estará integrado por los elementos prefabricados, las piezas de aligeramiento y hormigón in situ HA-25/B/20/I, siendo el espesor de la capa de compresión la menor de las definidas en las fichas de las Autorizaciones de Uso, y disponiendo en ella malla de losa superior.

El forjado se construirá cimbrado, con distancias entre puntales de acuerdo con su situación real de construcción. La entrega de los nervios del forjado, contada a partir del eje del apoyo, será de al menos 15 cm y tanto la cuantía de armadura longitudinal inferior como la longitud de anclaje de esta armadura serán suficientes para garantizar la estabilidad del apoyo sin que se produzca fallo de anclaje.

### 3.3 Cargas aplicadas al modelo.

Se aplicará al modelo una carga lineal, transversal al forjado, que irá tomando valores crecientes, hasta que se alcance la rotura. La carga se aplicará a una distancia «a» igual o mayor de 3,5 veces el canto del forjado desde el apoyo más cercano. Sobre cada uno de los modelos de ensayo se realizarán dos ensayos consecutivos, el segundo de ellos tras reajustar el apoyo en que se haya producido el fallo, correspondiente uno a cada apoyo.

Alternativamente, podrán emplearse también dos cargas lineales transversales al forjado, dispuestas simétricamente respecto de su eje de simetría. Las cargas se aplicarán a una distancia «a» igual o mayor de 3,5 veces el canto del forjado desde cada uno de los apoyos más cercanos.

### 3.4 Valor del esfuerzo cortante por nervio registrado en el ensayo.

El valor del esfuerzo cortante por nervio registrado en ensayo será el deducido de sumar el correspondiente al peso propio del modelo ensayado, el peso de los elementos auxiliares de carga y distribución de las mismas y la máxima carga directamente aplicada por el medio que se emplee para la reproducción de la misma, por lo que el sistema de aplicación de las cargas que se implemente deberá poder registrar la carga máxima alcanzada durante el ensayo.

La rotura de un forjado se considerará alcanzada cuando se produzca la rotura a cortante de un nervio. Se ha de señalar que en cada ensayo de un forjado se obtiene el menor valor de dos nervios sometidos a la misma sollicitación, por lo que para un determinado tipo de forjado se obtendrá el valor mínimo de 16 valores de esfuerzo cortante de rotura [dos (2) modelos de ensayo cada uno de dos (2) nervios y para dos (2) cantos diferentes, realizándose dos (2) ensayos por modelo].



### 3.5 Interpretación de los resultados.

Se considerará que el resultado de ensayo es positivo, y que en consecuencia procede la aplicación al forjado de la fórmula a la que hace referencia este Anejo para calcular su resistencia de agotamiento a esfuerzo cortante, si el valor mínimo alcanzado en ensayo supera 1,5 veces el valor de cálculo obtenido tras la aplicación de la citada fórmula.

### 3.6 Informe de los resultados.

El ensayo quedará documentado en un informe en el que se deberá hacer constar al menos:

- La descripción de los modelos de ensayo y su justificación teórica.
- Las características de los materiales empleados.
- El proceso de ejecución de los modelos de ensayo.
- El esquema de armado de los forjados y sus configuraciones geométricas detalladas.
- El proceso de carga, con indicación de los escalones de carga establecidos.
- La justificación de los valores nominales del esfuerzo cortante según la fórmula a la que hace referencia el presente Anejo.
- La justificación de los valores de esfuerzo cortante de rotura registrados en ensayo.
- La descripción de la forma de rotura.
- Las conclusiones sobre la procedencia de poder adoptar los valores de esfuerzo cortante de agotamiento que se pretenden para el valor nominal establecido en la Instrucción EHE, y la gama de cantos para la que ello es aplicable.

### 4. Certificado de garantía.

El certificado de garantía que acompañará a los elementos prefabricados con objeto de poder aplicarse la fórmula a la que hace referencia este Anejo, deberá incluir al menos la siguiente información:

- Identificación completa (nombre y apellidos, domicilio, y cargo en la empresa) de la persona física que firma el certificado de garantía.
- Identificación completa de la empresa.
- Tipo y descripción de los elementos que son objeto del suministro.
- Fecha de fabricación de los elementos que son objeto del suministro.
- Marcas e identificaciones de los elementos que son objeto del suministro.
- Manifestación expresa de que se realiza en fábrica un control de producción para el tipo de elementos de que se trate, conforme con el presente Anejo.
- Declaración expresa del coeficiente de seguridad, respecto al valor del cortante de cálculo, obtenido de los ensayos realizados en el control de producción.
- Fecha de expedición del certificado.
- Firma de la persona física que se hace responsable de la veracidad de los datos incluidos en el certificado de garantía.
- Sello de la empresa.

## Anejo 6

### *Ensayos de resistencia a esfuerzo rasante en forjados sin armadura de cosido*

#### 1. Condiciones generales para la aplicación de este Anejo.

El campo de aplicación de este Anejo son los forjados que, dentro del ámbito de esta Instrucción, no tengan armadura de cosido y presenten una imbricación eficaz entre el hormigón in situ y el elemento prefabricado (éste es el caso, por ejemplo, de los forjados constituidos por viguetas pretensadas con alma de cola de milano fabricadas con máquina ponedora).

Para poder aplicar el incremento del 20% de la capacidad frente a esfuerzo rasante, será necesario comprobar que es aceptable dicho incremento mediante la realización de los ensayos específicos, para lo que habrán de cumplirse simultáneamente las condiciones siguientes:

- a) la tipología del forjado deberá cumplir las condiciones impuestas en el apartado 2 de este Anejo,
- b) los elementos prefabricados se suministrarán a obra con un certificado de garantía del fabricante, firmado por persona física, de que el control de producción de las piezas suministradas incluye la realización de ensayos de rasante, conforme con lo establecido en el apartado 3 del presente Anejo, y de acuerdo con el modelo establecido en el apartado 4 del mismo,

- c) la Dirección Facultativa podrá exigir los correspondientes informes de los ensayos relativos al control de producción realizados durante los dos últimos años.

En el caso de que los elementos prefabricados estén en posesión de un distintivo oficialmente reconocido, sólo será necesaria la verificación del cumplimiento de los puntos a) y c).

Dada la analogía entre este ensayo y el que se establece para evaluar la resistencia a esfuerzo cortante se recomienda que, para el caso de viguetas con alma en cola de milano fabricadas con máquina ponedora y eficazmente engarzadas con el hormigón in situ, se programe la realización de ambos tipos de ensayo, de cortante y de rasante, en los mismos modelos.

Es necesario ajustar la geometría del modelo en lo que al establecimiento del perímetro de rasante concierne, dado que la exigencia de este ensayo obliga a que sean superiores las resistencias a flexión y a cortante para que se pueda provocar la rotura por rasante, al ser el fallo de rasante de carácter más frágil que los de flexión y de cortante y tener, en consecuencia, que ser cubierto su mecanismo de rotura con mayor seguridad.

## 2. Tipologías de forjados.

El incremento del 20% de la capacidad frente a esfuerzo rasante a la que hace referencia este Anejo sólo será aplicable a tipologías de forjados con cantos totales no superiores a 350 mm.

## 3. Ensayos de rasante.

Los ensayos de rasante se realizarán conforme a lo establecido en los siguientes puntos:

### 3.1 Número de ensayos.

En el caso de emplearse forjados constituidos por dos nervios, se realizarán para cada tipo de forjado dos modelos de ensayo con dos de los cantos utilizados con el forjado, y sobre ellos se efectuarán dos ensayos por modelo.

Pueden emplearse también, como procedimiento alternativo, forjados constituidos por nervios aislados formados por una sola vigueta, en cuyo caso se realizarán cuatro modelos de ensayo, para realizar dos ensayos por modelo, de dos de los cantos utilizados con el forjado, todo ello para cada tipo de forjado.

Los dos cantos de forjado a emplearse en los ensayos serán:

- el canto mínimo del forjado, no siendo nunca inferior a 200 mm.
- el canto máximo del forjado, no siendo nunca superior a 350 mm.

### 3.2 Modelo de ensayo.

El modelo estará constituido por dos viguetas con un intereje de 70 cm, incluirá piezas de aligeramiento entre las dos viguetas, que serán de poliestireno expandido o con molde recuperable que reproduzca la geometría del aligeramiento, así como en los laterales de las mismas, para reproducir dos nervios completos del forjado. El perímetro de rasante que se configure en el modelo deberá ser ajustado para, en lo posible, provocar el fallo por rasante tras haberse superado como mínimo 1,5 veces el valor del esfuerzo cortante de cálculo del forjado. Sus coacciones de apoyo serán de articulación mediante rótulas, una fija y otra deslizante, dispuestas bajo los nervios.

Alternativamente, se podrán utilizar también modelos con forjados constituidos por nervios aislados formados por una sola vigueta, en los cuales mediante moldes o piezas de aligeramiento análogas a las definidas anteriormente, se reproduzca adecuadamente la geometría del aligeramiento.

El dimensionamiento del modelo se hará para que no sea crítico el fallo por flexión, permitiendo superar ampliamente la capacidad a cortante, todo ello para el esquema de cargas que se establece en el punto 3.3 de este Anejo.

El forjado estará integrado por los elementos prefabricados, piezas de aligeramiento y hormigón in situ HA-25/B/20/l, siendo el espesor de la capa de compresión la menor de las definidas en las fichas de las Autorizaciones de Uso, y disponiendo en ella malla de losa superior.

El forjado se construirá cimbrado, con distancias entre puntales de acuerdo con su situación real de construcción. La entrega de los nervios del forjado, contada a partir del eje del apoyo, será de al menos 15 cm, y tanto la cuantía de armadura longitudinal inferior como la longitud de anclaje de esta armadura serán suficientes para garantizar la estabilidad del apoyo sin que se produzca fallo de anclaje.

### 3.3 Cargas aplicadas al modelo.

Se aplicará al modelo una carga lineal, transversal al forjado, que irá tomando valores crecientes, hasta que se alcance la rotura. La carga se aplicará a una distancia «a» igual o mayor de 3,5 veces el canto del forjado desde el apoyo más cercano. Sobre cada uno de los modelos de ensayo se realizarán dos ensayos consecutivos, el segundo de ellos tras reajustar el apoyo en que se haya producido el fallo, correspondiendo uno a cada apoyo.

Alternativamente, podrán emplearse también dos cargas lineales transversales al forjado, dispuestas simétricamente respecto de su eje de simetría. Las cargas se aplicarán a una distancia «a» igual o mayor de 3,5 veces el canto del forjado desde cada uno de los apoyos más cercanos.

#### 3.4 Valor del esfuerzo rasante por nervio registrado en el ensayo.

El valor del esfuerzo rasante por nervio registrado en ensayo será el deducido de sumar el correspondiente al peso propio del modelo ensayado, el peso de los elementos auxiliares de carga y distribución de las mismas y la máxima carga directamente aplicada por el medio que se emplee para la reproducción de la misma, por lo que el sistema de aplicación de las cargas que se implemente deberá poder registrar la carga máxima alcanzada durante el ensayo. La rotura de un forjado se considerará alcanzada cuando se produzca la rotura a cortante o a rasante de un nervio. Hemos de señalar que en cada ensayo de un forjado se obtiene el menor valor de dos nervios sometidos a la misma sollicitación, por lo que para un determinado tipo de forjado se obtendrá el valor mínimo de 16 valores de esfuerzo cortante o rasante de rotura [dos (2) modelos de ensayo cada uno de dos (2) nervios y para dos (2) cantos diferentes, realizándose dos (2) ensayos por modelo].

#### 4. Interpretación de resultados.

Se considerará que el resultado de ensayo es positivo, y que en consecuencia procede la aplicación al forjado del incremento del 20% en la resistencia a esfuerzo rasante que se contempla en el Apartado 14.3, si el valor de la tensión rasante alcanzada en ensayo supera 2,0 veces el valor nominal obtenido por aplicación de la Instrucción EHE para un coeficiente  $\beta = 0,6$ , con el valor del perímetro crítico correspondiente al modelo y resistencia del hormigón la correspondiente al hormigón in situ del modelo ensayado.

#### 5. Informe de los resultados.

El ensayo quedará documentado en un informe en el que se deberá hacer constar al menos:

- La descripción de los modelos de ensayo y su justificación teórica.
- Las características de los materiales empleados.
- El proceso de ejecución de los modelos de ensayo.
- El esquema de armado de los forjados y sus configuraciones geométricas detalladas.
- El proceso de carga, con indicación de los escalones de carga establecidos.
- La justificación de los valores nominales del esfuerzo rasante.
- La justificación de los valores de esfuerzo rasante o cortante de rotura registrados en ensayo.
- Las conclusiones sobre la procedencia de poder adoptar los valores de esfuerzo rasante de agotamiento que se pretenden para el valor nominal establecido en la Instrucción EHE con un incremento del 20%, y la gama de cantos para la que ello es aplicable.