

# I. Disposiciones generales

## MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y URBANISMO

**18670** REAL DECRETO 824/1988, de 15 de julio, por el que se aprueba la Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado (EH-88) y la Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón armado o pretensado (EF-88).

La Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado (EH-80), fue aprobada por Real Decreto 2868/1980, de 17 de octubre, y posteriormente modificada por Real Decreto 2252/1982, de 24 de julio, con la denominación EH-82.

La Instrucción para la fabricación y suministro de hormigón preparado (EHPRE-72), fue aprobada por Orden de 5 de mayo de 1972.

La Comisión Permanente del Hormigón, encargada de la redacción y revisión de las mencionadas Instrucciones, que ha venido recogiendo observaciones, experiencias y estudios relacionados con los temas de hormigón, y muy especialmente los avances tecnológicos y las orientaciones del Comité Eurointernacional del Hormigón (CEB) y en particular las tendencias actualmente existentes en la Comunidad Económica Europea (CEE), ha considerado oportuno modificar determinados artículos de la Instrucción EH-82 así como incluir la normativa de hormigón preparado, en la nueva Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado (EH-88). Esto hace necesario la derogación de la EHPRE-72.

Por otra parte, la importancia de los forjados unidireccionales de hormigón armado o pretensado, ha aconsejado crear una nueva Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón armado o pretensado (EF-88), y, en consecuencia, adaptar los artículos de la Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado y la Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón pretensado correspondientes a estos forjados a esta nueva situación.

En su virtud, y a iniciativa de la Comisión Permanente del Hormigón, realizados los trámites establecidos por la Directiva del Consejo de las Comunidades Europeas de 28 de marzo de 1983, por la que se establece un procedimiento de información en materia de las normas y reglamentaciones técnicas (83/189/CEE), a propuesta del Ministro de Obras Públicas y Urbanismo y previa deliberación del Consejo de Ministros en su reunión del día 15 de julio de 1988,

### DISPONGO:

Artículo 1.º Se aprueba la Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado (EH-88) que estará constituida por la EH-82 con las modificaciones a la misma que figuran como anejo 1 del presente Real Decreto.

Art. 2.º Se aprueba la Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón armado o pretensado (EF-88) que figura en el anejo 2 del presente Real Decreto.

Art. 3.º El ámbito de aplicación de estas Instrucciones se extenderá con carácter obligatorio a todas las obras, tanto de las Administraciones Públicas como las de carácter privado.

Estas Instrucciones también se aplicarán, con el mismo ámbito, a los productos prefabricados de hormigón.

### DISPOSICIONES TRANSITORIAS

Primera.-Los proyectos aprobados por las Administraciones Públicas o visados por Colegios profesionales antes de la fecha de entrada en vigor de este Real Decreto se regirán por la Instrucción que les corresponda vigente en el momento de la aprobación de aquéllos y podrán servir de base a la ejecución de las obras correspondientes siempre que éstas se inicien antes de un año a partir de la publicación de este Real Decreto.

Segunda.-La ejecución de las obras comprendidas en la disposición transitoria anterior se realizará de acuerdo con la Instrucción que le corresponda vigente en el momento de la aprobación, pudiendo no

obstante aplicar la nueva Instrucción en aquellos puntos que no impliquen modificación del proyecto o del contrato.

Tercera.-Si las obras no se iniciaran en el plazo fijado en la disposición transitoria primera sus proyectos deberán ser modificados de acuerdo con los preceptos de las nuevas Instrucciones.

Cuarta.-Las obras que se encuentren iniciadas en la fecha de publicación del presente Real Decreto se continuarán con arreglo a la Instrucción que les haya servido de base, salvo acuerdo entre las partes contratantes.

### DISPOSICION DEROGATORIA

Quedan derogados a partir de la entrada en vigor del presente Real Decreto:

Primero.-El artículo 58 «Forjados de edificación unidireccionales con elementos prefabricados de hormigón pretensado» de la Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón pretensado (EP-80), aprobada por Real Decreto 1789/1980, de 14 de abril.

Segundo.-La Orden de 5 de mayo de 1972 por la que se aprueba la Instrucción para la fabricación y suministros de hormigón preparados (EHPRE-72).

### DISPOSICION FINAL

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

Dado en Madrid a 15 de julio de 1988.

JUAN CARLOS R.

El Ministro de Obras Públicas y Urbanismo,  
JAVIER LUIS SAENZ DE COSCULLUELA

### ANEJO 1

Modificaciones a la Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado (EH-82)

#### Artículo 1.º Campo de aplicación de la Instrucción.

Se refiere la presente Instrucción a las construcciones, estructuras y elementos estructurales de hormigón, en masa o armado, fabricados con materiales que cumplan las condiciones indicadas en la misma.

Expresamente se excluyen del campo de aplicación de esta Instrucción:

- Los hormigones especiales, tales como los ligeros, los pesados, los refractarios y los compuestos con amiantos, serrines u otras sustancias análogas.
- Los hormigones que hayan de estar expuestos a temperaturas superiores a 70 °C.
- Las estructuras de hormigón pretensado.
- Las estructuras mixtas de hormigón y perfiles de acero.

Para obras especiales, esta Instrucción deberá ser complementada con las reglamentaciones específicas aplicables a las mismas o con las medidas o disposiciones derivadas de las características de la propia obra y de su utilización.

El autor del proyecto y el Director de la obra están obligados a conocer y tener en cuenta las prescripciones de la presente Instrucción pero pueden, bajo su personal responsabilidad, emplear sistemas de cálculo, disposiciones constructivas, etc., diferentes.

#### Artículo 1.º Campo de aplicación de la Instrucción.

##### Comentarios:

El Comité Eurointernacional del Hormigón define los hormigones estructurales de acuerdo con su peso específico en:

- Normales: Superior a 2.000 y hasta 2.800 Kg/m<sup>3</sup>.
- Ligeros: De 1.200 a 2.000 Kg/m<sup>3</sup>.
- Pesado: Superiores a 2.800 Kg/m<sup>3</sup>.

Dado que las características de los hormigones ligeros, pesados y refractarios son distintas de las de los hormigones normales, el empleo

de los mismos requiere prescripciones específicas que deberán ser objeto de normativas especiales.

El efecto perjudicial de las temperaturas elevadas es, en general, más acusado en ambientes secos que en ambientes húmedos. El valor límite de 70°C establecidos por la Instrucción resulta, en todos los casos, suficientemente seguro. Si la temperatura excede de dicho límite se deberá recurrir a la consulta de textos especializados y adoptar las medidas oportunas.

En obras especiales tales como algunas obras marítimas, presas, reactores nucleares, etc., se adoptarán las medidas derivadas de las características de la propia obra y de su utilización. Tales medidas pueden requerir una juiciosa adaptación de los preceptos de esta Instrucción al tipo de obra correspondiente, como puede ser el caso de las especificaciones relativas al control del hormigón (y en particular, el tamaño del lote) cuando se aplican a presas.

Las estructuras mixtas exigen el empleo de técnicas especiales y métodos de cálculo específico. Por ello no se incluyen dichas estructuras en el campo de aplicación de esta Instrucción.

#### 4.1 Generalidades.

##### Comentarios:

La calidad de la obra depende, en primer lugar, de la calidad del proyecto. Por ello, se recomienda que éste sea supervisado por un Técnico distinto del autor que lo realizó, como es el caso de las Oficinas de Supervisión de Proyectos de los Organismos Públicos.

#### 4.4 Pliego de prescripciones técnicas particulares.

##### Comentarios:

En cuanto a las prescripciones técnicas de ejecución bastará, normalmente, con hacer referencia los correspondientes artículos de la presente Instrucción, completándolos cuando sea necesario con aquellas condiciones particulares que se estime oportuno establecer. Bien entendido que, en ningún caso, dichas condiciones particulares podrán resultar incompatibles con lo prescrito en esta Instrucción, salvo clara, razonada y excepcional justificación.

Las tolerancias dimensionales deberán ser compatibles con las condiciones de ejecución previstas.

Con respecto a las decisiones derivadas del control de resistencia del hormigón (véase 69.4), en el pliego de cláusulas administrativas particulares o en el pliego de condiciones de cada obra cuando no exista aquél, se pueden especificar posibles penalizaciones económicas, en particular para el caso en que resulte

$$F_{ck} > F_{est} \geq 0,9 F_{ck}$$

#### 4.9 Documentación final de la obra.

El Director de la obra entregará, al menos, a la propiedad, en el momento de finalizar la misma, una Memoria que recoja las incidencias principales de su ejecución, una colección de planos que reflejen el estado final de la obra tal como ha sido construida, así como una demostración documental de que se han cumplido las especificaciones que se prescriben en el título III del Control de esta Instrucción.

#### Art. 5.º Cemento.

##### 5.1 Cementos utilizables.

Podrá utilizarse cualquier tipo de cemento con tal de que cumpla la Reglamentación vigente para dicho material.

También podrán utilizarse los cementos legalmente fabricados y comercializados en un Estado miembro de la Comunidad Económica Europea que sean conformes a las especificaciones en vigor en tales Estados, siempre que éstas tengan un nivel de seguridad equivalente al que exige la Reglamentación Española.

La resistencia del cemento no será inferior a 250 Kp/cm<sup>2</sup>, y deberá ser capaz de proporcionar al hormigón las cualidades que a éste se le exigen en el artículo 10.

El empleo del cemento aluminoso deberá ser objeto, en cada caso, de estudio especial, exponiendo las razones que aconsejan su uso y observándose estrictamente las especificaciones contenidas en el anejo 4.

En los documentos de origen figurarán el tipo, clase y categoría a que pertenece el cemento, así como la garantía del fabricante de que el cemento cumple las condiciones exigidas.

El fabricante enviará, si se le solicita, copia de los resultados de análisis y ensayos correspondientes a la producción de la jornada a que pertenezca la partida servida.

Con respecto al contenido de ion cloro, se tendrá en cuenta lo previsto en 10.1.

##### Comentarios:

En tanto no existan unas especificaciones vinculantes en el ámbito de la Comunidad Europea, el articulado exige al cemento que cumpla la Reglamentación Española.

La contratación del cumplimiento del nivel de seguridad equivalente por parte de los cementos procedentes de un Estado miembro de la Comunidad Económica Europea, se comprobará según lo dispuesto en la Reglamentación en materia de normalización y homologación de cementos.

En general, y de un modo especial en el caso de que vaya a utilizarse en la construcción de elementos prefabricados, resulta conveniente que el cemento posea las características adecuadas para que pueda ser sometido a tratamiento higrotérmico, u otro análogo, con el fin de conseguir un rápido fraguado y endurecimiento.

A título meramente indicativo, y como ayuda al proyectista, esta Instrucción conserva el anejo 3 de la EH-82 donde se incluyen algunas recomendaciones relativas al empleo de los distintos tipos de cementos, cuyo contenido, y en particular la denominación de los cementos, deberá interpretarse con arreglo a la Reglamentación vigente en cada momento.

#### Art. 6.º Agua.

En general, podrá ser utilizada, tanto para el amasado como para el curado de hormigón en obra, todas las aguas sancionadas como aceptables por la práctica.

Cuando no se posean antecedentes de su utilización, o en caso de duda, deberán analizarse las aguas, y salvo justificación especial de que no alteran perjudicialmente las propiedades exigibles al hormigón, deberán rechazarse las que no cumplan una o varias de las siguientes condiciones:

Exponente de hidrógeno pH (UNE 7.234).....	≥ 5
Sustancias disueltas (UNE 7.130).....	≤ 15 gramos por litro (15.000 p.p.m.)
Sulfatos expresados en SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (UNE 7.131) excepto para el cemento PY en que se eleva este límite a 5 gramos por litro (5.000 p.p.m.).....	≤ 1 gramo por litro (1.000 p.p.m.)
Ion cloro Cl <sup>-</sup> (UNE 7.178) para hormigón con armaduras.....	≤ 6 gramos por litro (6.000 p.p.m.)
Hidratos de carbono (UNE 7.132).....	0
Sustancias orgánicas solubles en éter (UNE 7.235).....	15 gramos por litro (15.000 p.p.m.)

realizándose la toma de muestras según la UNE 7.236 y los análisis por los métodos de las normas indicadas.

Podrán, sin embargo, emplearse aguas de mar o aguas salinas análogas para amasar hormigones que no tengan armadura alguna.

Con respecto al contenido en ion cloro, se tendrá en cuenta lo prescrito en 10.1.

#### Art. 7.º Áridos.

##### 7.1. Generalidades.

La naturaleza de los áridos y su preparación serán tales que permitan garantizar la adecuada resistencia y durabilidad del hormigón, así como las restantes características que se exijan a éste en el pliego de prescripciones técnicas particulares.

Como áridos para la fabricación de hormigones pueden emplearse arenas y gravas existentes en yacimientos naturales, rocas machacadas o escorias siderúrgicas apropiadas, así como otros productos cuyo empleo se encuentre sancionado por la práctica o resulte aconsejable como consecuencia de estudios realizados en laboratorio. En cualquier caso se cumplirán las condiciones de 7.3.

Cuando no se tengan antecedentes sobre la naturaleza de los áridos disponibles, o se vayan a emplear para otras aplicaciones distintas de las ya sancionadas por la práctica, se realizarán ensayos de identificación mediante análisis mineralógicos, petrográficos, físicos o químicos, según convenga a cada caso.

En el caso de utilizar escorias siderúrgicas como árido, se comprobará previamente que son estables, es decir, que no contienen silicatos inestables ni compuestos ferrosos. Esta comprobación se efectuará con arreglo al método de ensayo UNE 7.243.

Se prohíbe el empleo de áridos que contengan sulfuros oxidables. Se entiende por «arena» o «árido fino», el árido o fracción del mismo que pasa un tamiz de 5 mm de luz malla (tamiz 5 UNE 7.050) por «grava» o «árido grueso», el que resulta retenido por dicho tamiz; y por «árido total» (o simplemente «árido») cuando no haya lugar a confusiones, aquel que, de por sí o por mezcla, posee las proporciones de arena y grava adecuadas para fabricar el hormigón necesario en el caso particular que se considere.

Los áridos deberán llegar a obra manteniendo las características granulométricas de cada una de sus fracciones.

##### Comentarios:

Los áridos no deben ser activos frente al cemento, ni deben descomponerse por los agentes exteriores a que estarán sometidos en

obra. Por tanto, no deben emplearse áridos tales como los procedentes de rocas blandas, friables, porosas, etc., ni los que contengan nódulos de yeso, compuestos ferrosos, sulfuros oxidables, etc.

Entre los ensayos que se pueden realizar con los áridos, hay algunos de interés general; por ejemplo, el utilizado para determinar el contenido en materia orgánica, ya que ésta es siempre perjudicial para el fraguado y endurecimiento del hormigón.

En otros ensayos, el resultado es verdaderamente interesante sólo en un cierto número de casos, ya que su finalidad consiste en dar un índice de comportamiento del material en circunstancias que, a pesar de ser relativamente frecuentes, no son comunes a todas las obras. Esto ocurre con la determinación de la pérdida de peso en solución de sulfato sódico o magnésico, cuyo principal objeto es conocer la resistencia, frente a la helada, del árido empleado en el hormigón.

Los sulfuros oxidables (por ejemplo, pirrotina, marcasita y algunas formas de pirita), aun en pequeña cantidad, resultan muy peligrosos para el hormigón, pues por oxidación y posterior hidratación se transforman en ácido sulfúrico y óxido de hierro hidratado, con gran aumento de volumen.

Ciertos tipos de rocas de naturaleza silíceas (por ejemplo, ópalo, dactilas, etc.), así como otras que continen sustancias carbonatadas magnesianas (por ejemplo, dolomitas), pueden provocar fenómenos fuertemente expansivos en el hormigón e inciertas condiciones hidrotérmicas y en presencia de los álcalis provenientes de los componentes del hormigón (reacción ácido-álcali). Otros tipos de reacciones nocivas pueden presentarse entre el hidróxido cálcico liberado durante la hidratación del cemento y áridos que provienen de ciertas rocas magnéticas o metamórficas, en función de su naturaleza y estado de alteración. Por ello, cuando no exista experiencia de uso, se prescribe la realización de ensayos de identificación en un laboratorio especializado.

7.2 Tamaños del árido.

Se denomina tamaño máximo de un partido la mínima abertura de tamiz UNE 7.050 por el que pase más del 90 por 100 en peso, cuando además pase el total por el tamiz de abertura doble. Se denomina tamaño mínimo de un árido, la máxima abertura de tamiz UNE 7.050 por el que pase menos del 10 por 100 de peso.

El tamaño máximo de un árido grueso será menor que las dimensiones siguientes:

- a) 0,8 de la distancia horizontal libre entre armaduras que no formen grupo, o entre un borde pieza y una armadura que forme un ángulo mayor de 45° con la dirección de hormigonado.
- b) 1,30 de la distancia entre un borde de la pieza y una armadura que forme un ángulo no mayor de 45° con la dirección de hormigonado.
- c) 0,25 de la dimensión mínima de la pieza, excepto en los casos siguientes:

- 0,33 de la anchura libre de los nervios de los forjados y otros elementos de pequeño espesor que se justifique.
- 0,5 del espesor mínimo de la losa superior de los forjados.

Comentarios:

Las piezas de ejecución muy cuidada (caso de prefabricación en taller) y aquellos elementos en los que el efecto pared del encofrado sea reducido (forjados que se encofran por una sola cara) constituyen dos ejemplos en los que el límite c) puede elevarse al tercio.

Cuando el hormigón deba pasar por entre varias capas de armaduras, convendrá emplear un tamaño de árido más pequeño que el que corresponde a los límites a) o b) si fuese determinante.

7.3 Prescripciones y ensayos.

Además de lo indicado en 7.1 los áridos deberán cumplir las condiciones que a continuación se indican.

7.3.1 Condiciones físico-químicas.

La cantidad de sustancias perjudiciales que pueden presentar los áridos no excederá de los límites siguientes:

	Cantidad máxima en porcentaje del peso total de la muestra	
	Arido fino	Arido grueso
Terrones de arcilla (determinados con arreglo al método de ensayo indicado en la UNE 7.133)	1,00	0,25
Partículas blandas (determinadas con arreglo al método de ensayo indicado en la UNE 7.134)	-	5,00
Material retenido por el tamiz 0,063 UNE 7.050 y que flota en un líquido de peso específico 2 (determinado con arreglo al método de ensayo indicado en la UNE 7.244)	0,50	1,00
Compuestos de azufre expresados en SO <sub>3</sub> y referidos al árido seco (determinados con arreglo al método de ensayo indicado en la UNE 83.120)	0,4	0,4

Con respecto al contenido en compuestos de cloro se tendrá en cuenta lo prescrito en 10.1.

No se utilizarán aquellos áridos finos que presenten una proporción de materia orgánica tal que, ensayados con arreglo al método de ensayo indicado en la UNE 7.082, produzcan un color más oscuro que el de la sustancia patrón.

No se utilizarán áridos finos cuyo equivalente de arena (EAV), determinado «a vista» (UNE 83.131/87), sea inferior a:

- a) 75, para obras en ambientes I y II.
- b) 80, para obras en ambiente III o que hayan de soportar ciclos de hielo/deshielo.

No obstante lo anterior aquellas arenas procedentes del machaqueo de rocas calizas, entendiéndose como tal aquellas rocas sedimentarias carbonáticas que contienen al menos un 50 por 100 de calcita, que no cumplan la especificación del equivalente de arena, podrán ser aceptadas como válidas siempre que el valor de azul de metileno (UNE 83.130/87) sea igual o inferior a 0,60 gramos de azul por cada 100 gramos de finos, para obras en ambientes I y II, o bien igual o inferior a 0,30 gramos de azul por cada 100 gramos de finos, para obras en ambiente III o que hayan de soportar ciclos de hielo-deshielo.

Los áridos no presentarán reactividad potencial con los álcalis del cemento. Realizado el análisis químico de la concentración de SiO<sub>2</sub>, y determinada la reducción de alcalinidad R, de acuerdo con el método de ensayo indicado en la UNE 7.137, el árido será considerado como potencialmente reactivo si:

- Para R ≥ 70, la concentración de SiO<sub>2</sub> resulta > R.
- Para R < 70, la concentración de SiO<sub>2</sub> resulta > 35 + 0,5 R.

Comentarios:

La presencia de compuestos de azufre detectados mediante el ensayo cualitativo indicado en la UNE 7.245, pone de manifiesto la inestabilidad potencial del árido, y, por consiguiente, el peligro de su empleo para la fabricación de hormigón al poder afectar a su durabilidad.

Respecto a los ensayos prescritos véanse las ideas generales expuestas anteriormente en el comentario al apartado 7.1

Como es sabido, la presencia de finos arcillosos en la arena puede afectar negativamente tanto a la resistencia del hormigón como a su durabilidad, lo que se pretende evitar con las limitaciones incluidas en el articulado (equivalente de arena y azul de metileno).

7.3.2 Condiciones físico-mecánicas.

Se cumplirán las siguientes limitaciones:

Frabilidad de la arena (FA) [determinada con arreglo al método de ensayo indicado en la UNE 83.115 (ensayo micro-Deval)]	≤ 40
Resistencia al desgaste de la grava [determinada con arreglo al método de ensayo indicado en la UNE 83.116 (ensayo de los Angeles)]	≤ 40
Absorción de agua por los áridos (determinada con arreglo al método de ensayo indicado en las UNE 83.133 y 83.134)	≤ 5 %

La pérdida de peso máxima experimentada por los áridos al ser sometidos a cinco ciclos de tratamiento con soluciones de sulfato sódico o sulfato magnésico (método de ensayo UNE 7.136) no será superior a la que se indica en el cuadro 7.3.

CUADRO 7.3

Andos	Pérdida de peso	
	Con sulfato sódico	Con sulfato magnésico
Finos	10 por 100	15 por 100
Gruesos	12 por 100	18 por 100

Este ensayo sólo se realizará cuando así lo indique el pliego de prescripciones técnicas particulares.

7.3.3 Granulometría y coeficiente de forma.

Para el árido grueso los finos que pasan por el tamiz 0,080 UNE 7.050 no excederán del 1 por 100 del peso total de la muestra, pudiendo admitirse hasta un 2 por 100 si se trata de árido procedente del machaqueo de rocas calizas.

Para el árido fino, la cantidad de finos que pasan por el tamiz 0,080 UNE 7.050, expresada en porcentaje del peso total de la muestra, no excederá del 6 por 100 con carácter general. En arenas procedentes del machaqueo de rocas calizas este límite, en función de las condiciones de ambiente (véase 13.3.b), puede elevarse a:

- 15 por 100: Para obras en ambientes I y II.
- 10 por 100: Para obras en ambiente III o que hayan de soportar ciclos de hielo-deshielo.

El coeficiente de forma del árido grueso, determinado con arreglo al método de ensayo indicado en la UNE 7.238 no debe ser inferior a 0,15. En caso contrario, el empleo de ese árido vendrá supeditado a la realización de ensayos previos en laboratorio. Se entiende por coeficiente de forma  $\alpha$  de un árido el obtenido a partir de un conjunto de  $n$  granos representativos de dicho árido, mediante la expresión:

$$\alpha = \frac{V_1 + V_2 + \dots + V_n}{\frac{\pi}{6} (d_1^3 + d_2^3 + \dots + d_n^3)}$$

en la que:

- $\alpha$  = coeficiente de forma.
- $V_i$  = volumen de cada grano.
- $d_i$  = la mayor dimensión de cada grano, es decir, la distancia entre los dos planos paralelos y tangentes a ese grano que estén más alejados entre sí, de entre todos los que sea posible trazar.

#### Comentarios:

El empleo de áridos gruesos con formas inadecuadas dificulta extraordinariamente la obtención de buenas resistencias y, en todo caso, exige una dosis excesiva de cemento. Por esta razón, es decir, para evitar la presencia de áridos laminares y aciculares en una proporción excesiva, se limita inferiormente el coeficiente de forma de la grava. El valor límite establecido no es muy exigente, por lo que sólo aquellos áridos que tienen gran cantidad de granos de forma inadecuada tendrán un coeficiente inferior a 0,15 y obligarán, por tanto, a recurrir a los ensayos previos que para este caso se prescriban. Tales ensayos consisten en la fabricación de probetas de hormigón, con objeto de comprobar si es o no admisible la dosis de cemento que esos áridos necesitan para que el hormigón correspondiente alcance las cualidades exigidas.

#### 7.4 Almacenamiento.

Los áridos deberán almacenarse de tal forma que queden protegidos de una posible contaminación por el ambiente y, especialmente, por el terreno, no debiendo mezclarse de forma incontrolada las distintas fracciones granulométricas.

Deberán también adoptarse las necesarias precauciones para eliminar en lo posible la segregación, tanto durante el almacenamiento como durante el transporte.

#### Art. 8.º Otros componentes del hormigón.

También pueden utilizarse como componentes del hormigón los aditivos y adiciones, siempre que se justifique mediante los oportunos ensayos, que la sustancia agregada en las proposiciones y condiciones previstas produce el efecto deseado sin perturbar excesivamente las restantes características del hormigón ni representar peligro para la durabilidad del hormigón ni para la corrosión de armaduras.

Con respecto al contenido de ion cloro se tendrá en cuenta lo prescrito en 10.1.

El empleo de aditivos y adiciones no puede hacerse en ningún caso sin la expresa autorización del Director de Obra.

#### Comentarios:

##### 8.1 Aditivos.

Aditivos son aquellas sustancias o productos que incorporados al hormigón antes de, o durante, el amasado (o durante un amasado suplementario) en una proporción no superior al 5 por 100 del peso del cemento, producen la modificación deseada en estado fresco y/o endurecido de alguna de sus características, de sus propiedades habituales o de su comportamiento.

En los documentos de origen figurará la designación del aditivo de acuerdo con lo indicado en UNE 83.200/84, así como la garantía del fabricante de que el aditivo, agregado en las proporciones y condiciones previstas, produce la función principal deseada sin perturbar excesivamente las restantes características del hormigón ni representar peligro para las armaduras.

Solamente se autorizará el uso de aquellos aditivos cuyas características y, especialmente, su comportamiento al emplearlos en las proporciones previstas, vengan garantizadas por el fabricante.

El fabricante suministrará el aditivo correctamente etiquetado, según UNE 83.275/87.

#### Comentarios:

Debe tenerse en cuenta que el comportamiento de los aditivos puede variar con las condiciones particulares de cada obra, tipo y dosificación de cemento, naturaleza de los áridos, etc. Por ello es imprescindible la realización de ensayos previos en todos y cada uno de los casos (véase 63.4) y muy especialmente cuando se empleen cementos diferentes del «portland».

El empleo del cloruro cálcico como acelerante suele ser beneficioso cuando se trata de hormigón en masa y se utiliza el producto en las debidas proporciones (del orden de 1,5 al 2 por 100 del peso del cemento); pero no puede decirse lo mismo en el caso de hormigones armados en los que su presencia provoca a veces, y favorece siempre, fenómenos más o menos retardados de corrosión de armaduras (véase 24.3 y su comentario correspondiente). Por esta razón, si su empleo resulta necesario es fundamental la consulta de textos especializados en el tema.

#### 8.2 Adiciones.

En ciertos casos pueden utilizarse cenizas volantes como adición en el momento de fabricación del hormigón.

Las cenizas volantes son los residuos sólidos que se recogen por precipitación electrostática o por captación mecánica de los polvos que acompañan a los gases de combustión de los quemadores de centrales termoeléctricas alimentados por carbones pulverizados.

Cuando se pretenda utilizar cenizas volantes se analizarán previamente y se efectuarán ensayos sobre probetas de hormigón fabricado con éstas y con el mismo cemento que se vaya a emplear para comprobar las características que se consideren necesarias como permeabilidad, carbonatación, expansión, etc.

En la fabricación de hormigones que contengan cenizas volantes se empleará siempre cemento «portland» con un 100 por 100 de «chinkers».

En el caso de utilizar estas adiciones el Director de Obra, teniendo en cuenta los resultados de los ensayos anteriormente mencionados, autorizará o no su uso y establecerá, en su caso, la cantidad necesaria por metro cúbico de hormigón.

Cuando se trate de hormigón preparado con adiciones, en los albaranes figurará expresamente la procedencia y cantidad de cenizas volantes que contiene.

#### Comentarios:

El empleo de cenizas volantes y otras adiciones activas como componentes en la fabricación de cementos, es siempre de mayor garantía que su utilización como adición en la fabricación del hormigón.

El uso de cenizas volantes en la fabricación del hormigón requiere unos cuidados muy intensos para comprobar que la composición de las cenizas es constante ya que al ser un subproducto no se tienen garantías de su regularidad.

Se recomienda que las cenizas volantes cumplan la norma UNE 83.415/87 Experimental «Adiciones al hormigón, cenizas volantes. Definición y especificaciones de las cenizas volantes utilizadas como adición a los hormigones y morteros de cemento "portland"».

Las cenizas con alto contenido de óxido de calcio pueden dar origen a problemas de expansión del hormigón por lo que se recomienda extremar las precauciones y controles en su utilización como adición al hormigón.

#### Art. 9.º Armaduras.

##### 9.1 Generalidades.

#### Comentarios:

Los productos denominados «alambres» se asimilan a barras lisas o corrugadas, cuando cumplan las condiciones de éstas.

Se entiende por diámetro nominal de una barra corrugada el número convencional que define el círculo respecto al cual se establecen las tolerancias. El área del mencionado círculo es la sección nominal de la barra.

Se entiende por sección equivalente de una barra corrugada expresada en  $\text{cm}^2$ , el cociente entre su peso en gramos y 7,85 veces su longitud en centímetros. El diámetro del círculo cuya área es igual a la sección equivalente se denomina diámetro equivalente.

La determinación de la sección equivalente de una barra debe realizarse después de limpiarla cuidadosamente para eliminar las posibles escamas de laminación y el óxido no adherido firmemente.

En general, en el caso de los aceros de dureza natural, salvo si se trata de barras de pequeño diámetro, el límite elástico coincide con el valor aparente de la tensión correspondiente al escalón de cedencia que para estos aceros está netamente definido. Cuando los aceros no presentan este escalón (como ocurre con todos los estirados en frío y algunos de dureza natural) o aparece poco definido, es necesario recurrir al valor convencional prescrito en el articulado.

En todos los casos puede emplearse para el límite elástico la designación  $f_y$ .

En general, las barras lisas son recomendables para aquellos casos en los que se necesita poder realizar fácilmente las operaciones de doblado y desdoblado (por ejemplo, armaduras de espera) o en los que se precisan redondos de superficie lisa (pasadores en juntas de pavimentos de hormigón, por ejemplo). Por el contrario, cuando se desea una resistencia elevada y/o una buena adherencia con el hormigón es siempre aconsejable el empleo de barras corrugadas, de alambres corrugados o de mallas electrosoldadas.

Los alambres corrugados se fabrican por laminación en frío, y con los procesos actuales de producción, suelen presentar tres filas de nervios longitudinales, lo que los distinguen de las barras corrugadas cuya fabricación se efectúa siempre por laminación en caliente, seguida o no de un proceso de deformación en frío. Las características de los alambres corrugados son prácticamente las mismas que las de las barras excepto en el caso de diámetros gruesos ( $\varnothing \geq 12$  mm) que suelen presentar una adherencia al hormigón ligeramente inferior (ver 9.4, 40.5 y 41.4).

En cuanto a las mallas electrosoldadas, su empleo suele ser especialmente apropiado en elementos superficiales (losas, láminas, etc.).

De un modo general se recomienda utilizar en obra el menor número posible de diámetros distintos y que estos diámetros se diferencien al máximo entre sí.

### 9.2 Barras lisas.

Barras lisas a los efectos de esta Instrucción son aquellas que no cumplen las condiciones de adherencia del punto 9.3. Cumplirán las condiciones siguientes, que serán garantizadas por el fabricante:

- Carga unitaria de rotura  $f_t$  comprendida entre 3.400 y 5.000 kp/cm<sup>2</sup>.
- Límite elástico  $f_e$  igual o superior a 2.200 kp/cm<sup>2</sup>.
- Alargamiento de rotura en tanto por ciento, medido sobre base de cinco diámetros igual o superior a 23.
- Ausencia de grietas después del ensayo de doblado simple a 180° efectuado a una temperatura de  $23^\circ \pm 5^\circ\text{C}$  sobre un mandril del siguiente diámetro:

Para las barras de diámetro superior a 16 mm cuya carga unitaria de rotura sea superior a 4.500 kp/cm<sup>2</sup>, el diámetro del mandril será doble del de la barra;

Para cualquier otro caso, el diámetro del mandril será igual al de la barra.

- Ausencia de grietas después del ensayo de doblado-desdoblado a 90°. Este ensayo se efectuará a una temperatura de  $23^\circ \pm 5^\circ\text{C}$  y en cada caso sobre un mandril de diámetro doble del utilizado en el ensayo de doblado simple a 180°.

Las tres primeras características citadas se determinarán de acuerdo con la norma 36.401/81.

Este acero se designa por AE 215 L.

### 9.3 Barras corrugadas.

Barras corrugadas a los efectos de esta Instrucción son las que se presentan, en el ensayo de adherencia por flexión descrito en el anejo 5 una tensión media de adherencia  $\tau_{bm}$  y una tensión de rotura de adherencia  $\tau_{bu}$  que cumplen simultáneamente las dos condiciones siguientes:

Diámetros inferiores a 8:

$$\begin{aligned} \tau_{bm} &\geq 70 \\ \tau_{bu} &\geq 115 \end{aligned}$$

Diámetros de 8 a 32, ambos inclusive:

$$\begin{aligned} \tau_{bm} &\geq 80 - 1,2 \varnothing \\ \tau_{bu} &\geq 130 - 1,9 \varnothing \end{aligned}$$

Diámetros superiores a 32:

$$\begin{aligned} \tau_{bm} &\geq 42 \\ \tau_{bu} &\geq 69 \end{aligned}$$

donde  $\tau_{bm}$  y  $\tau_{bu}$  se expresan en kp/cm<sup>2</sup> y  $\varnothing$  en mm.

Las características de adherencia serán objeto de homologación, mediante ensayos realizados en laboratorio oficial. En el certificado de homologación se consignarán obligatoriamente los límites de variación de las características geométricas de los resaltes. Estas características deben ser verificadas en el control de obra, después de que las barras hayan sufrido las operaciones de enderezado, si las hubiere.

Estas barras cumplirán además las condiciones siguientes:

Las características mecánicas mínimas garantizadas por el fabricante, de acuerdo con las prescripciones de la tabla 9.3.a.

Ausencia de grietas después de los ensayos de doblado simple a 180° y de doblado-desdoblado a 90°. (Apartados 9.2 y 9.3 de la UNE 36.088/1/81) sobre los mandriles que corresponda según tabla 9.3.b.

Llevar grabadas las marcas de identificación establecidas en el apartado 11 de la UNE 36.088/1/81, relativas a su tipo y marca del fabricante.

TABLA 9.3.a

Características mecánicas mínimas garantizadas de las barras corrugadas

Designación	Clases de acero	Límite elástico $f_e$ en kp/cm <sup>2</sup> no menor que	Carga unitaria de rotura $f_t$ en kp/cm <sup>2</sup> no menor que (1)	Alargamiento de rotura en porcentaje sobre base de 5 diámetros no menor que	Relación $f_t/f_e$ en ensayo no menor que (2)
AEH 400N	Dureza natural	4100	5300	16	1,05
AEH 400F	Estirado en frío	4100	4500	14	1,05
AEH 500N	Dureza natural	5100	6100	14	1,05
AEH 500F	Estirado en frío	5100	5600	12	1,05
AEH 600N	Dureza natural	6100	7100	12	1,05
AEH 600F	Estirado en frío	6100	6700	10	1,05

(1) Para el cálculo de los valores unitarios se utilizará la sección nominal.

(2) Relación mínima admisible entre la carga unitaria de rotura y el límite elástico obtenido en cada ensayo.

TABLA 9.3.b

Diámetro de los mandriles

Designación	Doblado simple $\alpha = 180^\circ$ (1) (2)			Doblado-desdoblado $\alpha = 90^\circ$ $\beta = 20^\circ$ (1) (2) (3)		
	$d \leq 12$	$12 < d \leq 25$	$d > 25$	$d \leq 12$	$12 < d \leq 25$	$d > 25$
AEH 400N	3 d	3,5 d	4 d	6 d	7 d	8 d
AEH 400F	3 d	3,5 d	4 d	6 d	7 d	8 d
AEH 500N	4 d	4,5 d	5 d	8 d	9 d	10 d
AEH 500F	4 d	4,5 d	5 d	8 d	9 d	10 d
AEH 600N	5 d	5,5 d	6 d	10 d	11 d	12 d
AEH 600F	5 d	5,5 d	6 d	10 d	11 d	12 d

(1)  $d$  = diámetro nominal de la barra.

(2)  $\alpha$  = ángulo de doblado.

(3)  $\beta$  = ángulo de desdoblado.

El fabricante indicará, si el acero es apto para el soldeo, las condiciones y procedimientos en que éste debe realizarse.

La aptitud del acero para el soldeo se comprobará de acuerdo con el 71.5.

### Art. 10. Hormigones.

#### 10.1 Composición.

La composición elegida para la preparación de las mezclas destinadas a la construcción de estructuras o elementos estructurales deberá estudiarse previamente, con el fin de asegurarse de que es capaz de proporcionar hormigones cuyas características mecánicas y de durabilidad satisfagan las exigencias del proyecto. Estos estudios se realizarán teniendo en cuenta, en todo lo posible, las condiciones de la obra real (diámetros, características superficiales y distribución de armaduras; modo de compactación, dimensiones de las piezas, etcétera).

Los componentes del hormigón deberán cumplir las prescripciones incluidas en los artículos 5.º, 6.º, 7.º y 8.º. Además, el ion cloro total aportado por los componentes no excederá del 0,4 por 100 del peso del cemento cuando se trate de obras de hormigón armado, salvo justificación especial de que no altera perjudicialmente las propiedades exigibles al hormigón y a las armaduras, ni a corto ni a largo plazo.

#### 10.3 Características mecánicas.

Las características mecánicas de los hormigones empleados en las estructuras deberán cumplir las condiciones impuestas en el artículo 26.

La resistencia del hormigón a compresión, a los efectos de esta Instrucción, se refiere a la resistencia de la unidad de producto o amasada y se obtiene a partir de los resultados de ensayos de rotura a compresión, en número igual o superior a dos, realizados sobre probetas cilíndricas de 15 centímetros de diámetro y 30 centímetros de altura, de veintiocho días de edad, fabricadas a partir de la amasada, conservadas con arreglo al método de ensayo indicado en UNE 83.301/1984, refrentadas según UNE 83.303/1984 y rotas por compresión, según el método de ensayo indicado en UNE 83.304/1984.

En aquellos casos en los que el hormigón no vaya a estar sometido a solicitaciones en los tres primeros meses a partir de su puesta en obra, podrá referirse la resistencia a compresión a la edad de noventa días.

En ciertas obras o en alguna de sus partes, el pliego de prescripciones técnicas particulares puede exigir la determinación de las resistencias a

tracción « $f_{ct}$ » o a flexotracción « $f_{ct}$ » del hormigón, mediante ensayos normalizados.

Si no se dispone de resultados de ensayos, podrá admitirse que la resistencia característica  $f_{ct,k}$  a tracción en función de la resistencia de proyecto a compresión  $f_{ck}$  viene dada por la fórmula

$$f_{ct,k} = 0,45 \sqrt[3]{f_{ck}^2}$$

donde  $f_{ct,k}$  y  $f_{ck}$  están expresadas en Kp/cm<sup>2</sup>.

#### Comentarios:

La definición dada por la resistencia de hormigón a compresión no es más que un convenio que permite asociar a cada unidad de producto o amasada de hormigón un valor relacionado con el concepto físico de resistencia del material que, aun distinto de aquel, es lo suficientemente representativo para el fin práctico de esta Instrucción.

En lo anterior se supone la homogeneidad completa del hormigón componente de cada amasada, lo cual implica atribuir a errores propios de los métodos de ensayo (momento y forma de la toma de la muestra, ejecución de la probeta, transporte y conservación, etc.), las discrepancias en los resultados obtenidos al operar con partes de la amasada. Cuando la desviación entre los resultados de una misma unidad de producto sobrepase ciertos límites parece razonable no concederles absoluta representatividad sin haber realizado una verificación del proceso seguido.

Actualmente pueden considerarse en tal situación resultados que difieran de la media en  $\pm 15$  por 100.

En UNE 83.306/1985 se especifican los medios y procedimientos a emplear para determinar la resistencia a rotura por tracción indirecta « $f_{ct}$ » (ensayo brasileño) de probetas cilíndricas de hormigón. La resistencia a tracción « $f_{ct}$ » viene dada por:

$$f_{ct} = 0,85 f_{ct}$$

La determinación de la resistencia a flexotracción « $f_{ct}$ » está normalizada en UNE 83.305/1986.

#### 10.6 Docilidad del hormigón.

La docilidad del hormigón será la necesaria para que, con los métodos previstos de puesta en obra y compactación, el hormigón rodee las armaduras sin solución de continuidad y rellene completamente los encofrados sin que se produzcan coqueiras. La docilidad del hormigón se valorará determinando su consistencia; lo que se llevará a cabo por el procedimiento descrito en el método de ensayo UNE 83.313/1987.

Como norma general, y salvo justificación especial, no se utilizarán hormigones de consistencia fluida, recomendándose los de consistencia plástica, compactados por vibrado. En elementos con función resistente se prohíbe la utilización de hormigones de consistencia líquida.

Se exceptúa de lo anterior el caso de hormigones fluidificados por medio de un superplastificante. La producción y puesta en obra de estos hormigones deberán realizarse según sus reglas específicas.

Las distintas consistencias y los valores límites de los asentos correspondientes en cono de Abrams serán los siguientes:

Tipos de consistencia	Asiento - Centímetros
Seca .....	0-2
Plástica .....	3-5
Blanda .....	6-9
Fluida .....	10-15

La consistencia del hormigón utilizado será la especificada en el pliego de prescripciones técnicas particulares, definiéndola por su tipo, o por su asiento, con las tolerancias que a continuación se indican:

#### Definidas por su tipo de consistencia

Tipo de consistencia	Tolerancia - Centímetros	Intervalo resultante
Seca .....	0	0-2
Plástica .....	$\pm 1$	2-6
Blanda .....	$\pm 1$	5-10
Fluida .....	$\pm 2$	8-15

#### Definidas por su asiento

Asiento en el cono de Abrams - Centímetros	Tolerancia - Centímetros
Entre 0-2 .....	$\pm 1$
Entre 3-7 .....	$\pm 2$
Entre 8-12 .....	$\pm 3$

#### 13.2 Distancias entre barras de armaduras principales:

La disposición de armaduras debe ser tal que permita un correcto hormigonado de la pieza, de manera que todas las barras o grupos de barras queden perfectamente envueltas por el hormigón, teniendo en cuenta, en su caso las limitaciones que pueda imponer el empleo de vibradores internos.

Las prescripciones que siguen son aplicables a las obras ordinarias de hormigón armado ejecutado in situ. Cuando se trate de obras provisionales, o en los casos especiales de ejecución particularmente cuidada (por ejemplo, elementos prefabricados con riguroso control), se podrán disminuir las distancias mínimas que se indican previa justificación especial.

##### 13.2.1 Barras aisladas.

A) La distancia horizontal libre entre dos barras aisladas consecutivas, salvo lo indicado en 13.2.2.C), será igual o superior al mayor de los tres valores siguientes:

- Dos centímetros.
- El diámetro de la mayor.
- El valor correlativo al que se toma en el apartado a) del 7.2.

B) La distancia vertical libre entre dos barras aisladas consecutivas cumplirá las condiciones a) y b) del párrafo anterior.

##### 13.2.2 Grupos de barras.

Se llama grupo de barras a dos o tres barras puestas en contacto.

a) Como norma general, se podrán colocar grupos de barras de la armadura principal, siempre que sean corrugadas. Cuando se trate de piezas comprimidas, hormigonadas en posición vertical, y cuyas dimensiones sean tales que no hagan necesario disponer empalmes en las armaduras, podrán colocarse hasta cuatro barras corrugadas en contacto.

b) En los grupos de barras para determinar las magnitudes de los recubrimientos y las distancias libres a las armaduras vecinas, se considerará como diámetro de cada grupo el de la sección circular de área equivalente a la suma de las áreas de las barras que lo constituyan. Estas magnitudes se medirán a partir del contorno real del grupo.

c) En los grupos, el número de barras y su diámetro serán tales que el diámetro equivalente del grupo, definido en la forma indicada en el párrafo anterior, no será mayor de 50 mm, salvo en piezas comprimidas que se hormigonan en posición vertical en que podrá elevarse a 70 mm la limitación anterior. En las zonas de solapo el número máximo de barras en contacto en la zona del empalme será de cuatro.

#### 13.3 Distancias entre parámetros.

Se observarán los siguientes recubrimientos mínimos:

a) Cuando se trata de armaduras principales, la distancia libre entre cualquier punto de la superficie lateral de una barra y el parámetro más próximo de la pieza será igual o superior al diámetro de dicha barra o diámetro equivalente si se trata de grupo de barras y al 0,80 del tamaño máximo del árido, salvo que la disposición de armaduras respecto a los parámetros dificulte el paso del hormigón, en cuyo caso se tomará 1,25 veces el tamaño máximo del árido (ver 7.2).

b) Para cualquier clase de armaduras (incluso estribos), la distancia mencionada en el párrafo anterior no será inferior a los valores siguientes:

Ambiente I	Estructuras en interiores de edificios o medios exteriores de baja humedad (no se sobrepasa el 60 por 100 de la humedad relativa más de 90 días al año).....	20 mm.
Ambiente II	Estructuras en exteriores normales (no agresivos) o en contacto con aguas normales o terreno ordinario .....	30 mm.
Ambiente III	Estructuras en atmósfera agresiva industrial o marina, o en contacto con terrenos agresivos o con aguas salinas o ligeramente ácidas.....	40 mm.

Los valores anteriores podrán disminuirse:

En láminas, piezas con parámetros protegidos y piezas prefabricadas..... 5 mm.  
Con hormigones de  $250 \leq f_{ck} < 400$  kp/cm<sup>2</sup> ... 5 mm.  
Con hormigones de  $f_{ck} \geq 400$  kp/cm<sup>2</sup>..... 10 mm,  
sin que en ningún caso resulten recubrimientos inferiores a 15 mm, 20 mm o 25 mm para los casos I, II y III, respectivamente.

c) La distancia libre de los parámetros a las barras dobladas no será inferior a dos diámetros, medida en dirección perpendicular al plano de la curva.

d) En las estructuras expuestas a ambientes químicos especialmente agresivos, el proyectista fijará el recubrimiento teniendo en cuenta que los valores anteriores deben ser prudentemente aumentados a la vez que debe cuidarse la compacidad y no porosidad del hormigón del recubrimiento (ver 24.3).

e) Cuando, por exigencias de protección frente a incendios o utilización de grupos de barras, el recubrimiento sea superior a 40 mm deberá colocarse una malla de reparto en medio del espesor del recubrimiento en la zona de tracción con una cuantía geométrica del 5 por 100 del área del recubrimiento para barras o grupos de barras de diámetro (o diámetro equivalente) igual o inferior a 32 mm, y del 10 por 100 para diámetros (o diámetro equivalente) superiores a 32 mm.

## Comentarios:

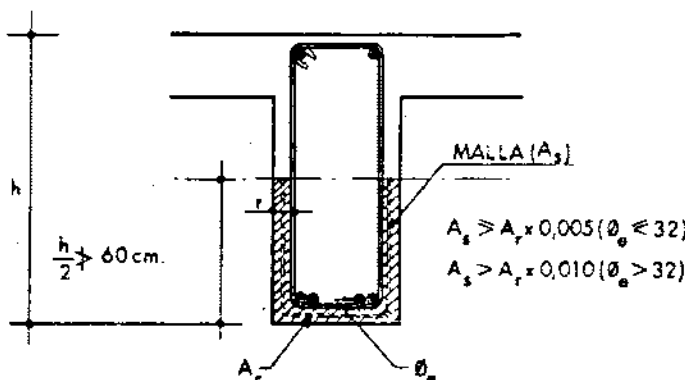
En el caso de vigas usuales la aplicación del articulado conduce a una disposición de la malla de reparto  $A_r$ , como se indica en la figura 13.3, siendo  $A_r$  el área de recubrimiento (zona rayada).

En ambiente agresivo la colocación de una malla en la zona de recubrimiento puede resultar perjudicial por el peligro de oxidación de los redondos de dicha malla.

TABLA 13.3

Los recubrimientos mínimos, en mm, establecidos en el articulado (subepígrafe b) se resumen en la tabla que sigue, en la que  $f_{ck}$  se expresa en  $kp/cm^2$

Condiciones ambientales de la estructura	Elementos en general			Láminas, piezas con paramentos protegidos, piezas prefabricadas		
	$f_{ck} < 250$	$250 \leq f_{ck} < 400$	$f_{ck} \geq 400$	$f_{ck} < 250$	$250 \leq f_{ck} < 400$	$f_{ck} \geq 400$
I. Interior de edificios.						
- Exteriores de baja humedad .....	20	15	15	15	15	15
II. Exteriores normales.						
- Contacto con aguas normales .....	30	25	20	25	20	20
III. Atmósfera marina o industrial.						
- Contacto con el terreno .....	-	-	-	-	-	-
- Contacto con aguas salinas o ligeramente ácidas .....	40	35	30	35	30	25



## Art. 15. Fabricación del hormigón y transporte a obra en su caso.

## Comentarios:

## 15.1 Prescripciones generales.

La fabricación del hormigón requiere:

- Almacenamiento de materias primas.
- Instalaciones de dosificación.
- Equipo de amasado.

Las materias primas se almacenarán y transportarán de forma tal que se evite cualquier alteración significativa en sus características. Se tendrá en cuenta lo previsto en 5.2 y 7.4 para el cemento y los áridos, respectivamente.

La dosificación de cemento se realizará en peso, pudiendo dosificarse los áridos en peso o en volumen. En cualquier caso, la cantidad de cada material deberá ajustarse a lo especificado, para conseguir una adecuada uniformidad entre amasadas.

Las materias primas se amasarán de forma tal que se consiga su mezcla íntima y homogénea, debiendo resultar el árido bien recubierto de pasta de cemento. El período de batido, a la velocidad de régimen, no será inferior a un minuto, con la posible excepción del hormigón fabricado en central (15.2.6).

No se mezclarán masas frescas de hormigones fabricados con cementos no compatibles, de acuerdo con lo indicado en el anejo 3 de esta Instrucción. Antes de comenzar la fabricación de una masa con un nuevo tipo de cemento no compatible con el de la masa anterior deberán limpiarse perfectamente las hormigoneras.

## Comentarios:

No es recomendable dosificar los áridos en volumen por las fuertes dispersiones a que suele dar lugar este procedimiento.

Las propiedades que permiten evaluar el nivel de calidad de un hormigón son la homogeneidad (mantenimiento de características similares dentro de una misma amasada) y la uniformidad (mantenimiento de características similares entre distintas amasadas).

El hormigón fabricado en centro se caracteriza, además de por las especificaciones de su producción, por una mayor homogeneidad y uniformidad, presumibles a priori y evaluables en el proceso de control de calidad de producción. Inversamente, el hormigón fabricado por cualquier otro procedimiento suele presentar dispersiones elevadas, tanto de homogeneidad como de uniformidad.

Por todo lo anterior, se recomienda fabricar el hormigón en central, siguiendo las especificaciones del apartado 15.2.

## 15.2 Hormigón fabricado en central.

## 15.2.1 Generalidades.

Se entenderá como central de fabricación de hormigón el conjunto de instalaciones y equipos que, cumpliendo con las especificaciones que se contienen en los apartados siguientes, comprende:

- Almacenamiento de materias primas.
- Instalaciones de dosificación.
- Equipos de amasado.
- Equipos de transporte, en su caso.
- Servicios de control de calidad de producción.

En cada central habrá una persona responsable de la fabricación, que estará presente durante el proceso de producción y que será distinta de la encargada del servicio de control de calidad.

## Comentarios:

Los parámetros que pueden utilizarse para comprobar la homogeneidad y uniformidad del hormigón, características propias del sistema de fabricación en central (ver comentario 15.1), son, entre otros, el peso del metro cúbico, el contenido de aire, el índice de consistencia y la resistencia a compresión.

La homogeneidad se analiza evaluando la dispersión que existe entre características de diversas muestras tomadas de la misma amasada, lo que permite comprobar la idoneidad del proceso de dosificación, amasado y transporte.

La uniformidad se analiza evaluando, mediante el coeficiente de variación, la dispersión que existe entre características análogas de distintas amasadas. Para ello, normalmente, se utilizan los valores de la resistencia a compresión a veintiocho días.

## 15.2.2 Almacenamiento de materias primas.

El cemento y los áridos se almacenarán según lo prescrito en 5.2 y 7.4, respectivamente.

Si existen instalaciones para el almacenamiento de agua y/o aditivos, serán tales que eviten cualquier contaminación.

Los aditivos pulverulentos se almacenarán en las mismas condiciones que los cementos.

Los aditivos líquidos y los pulverulentos diluidos en agua se deben almacenar en depósitos protegidos de la helada y que dispongan de elementos agitadores para mantener los sólidos en suspensión.

#### Comentarios:

Los apilamientos de áridos a pie de central (ver apartado 7.4) deben disponerse sobre una base anticontaminante que evite su contacto con el terreno. La mezcla entre los apilamientos de fracciones granulométricas distintas se evitará con tabiques separadores o con espaciamientos amplios entre ellos.

Debe también preverse la posible acción del viento sobre los apilamientos de árido fino, con objeto de evitar la segregación.

Con objeto de conseguir una humedad superficial estable en el árido fino, se debe mantener éste apilado y en reposo el tiempo necesario para que se produzca su drenaje. Este tiempo de drenaje depende principalmente de la granulometría y forma del árido. Se puede considerar como contenido de humedad superficial establece el comprendido entre un 6 y un 8 por 100 del peso del árido.

#### 15.2.3 Instalaciones de dosificación.

Las instalaciones de dosificación dispondrán de silos con compartimientos adecuados y separados para cada una de las fracciones granulométricas necesarias de árido. Cada compartimiento de los silos será diseñado y montado de forma que pueda descargar con eficacia, sin atascos y con una segregación mínima, sobre la tolva de la báscula.

Deberán existir los medios de control necesarios para conseguir que la alimentación de estos materiales a la tolva de la báscula pueda ser cortada con precisión cuando se llega a la cantidad deseada.

Las tolvas de las básculas deberán estar construidas de forma que puedan descargar complementariamente todo el material que se ha pesado.

Los instrumentos indicadores deberán estar completamente a la vista y lo suficientemente cerca del operador para que pueda leerlos con precisión mientras se está cargando la tolva de la báscula. El operador deberá tener un acceso fácil a todos los instrumentos de control.

Bajo cargas estáticas, las básculas deberán tener una precisión del 0,5 por 100 de la capacidad total de la escala de la báscula. Para comprobarlo deberá disponerse de un conjunto adecuado de pesas patrón.

Se deberá mantener perfectamente limpios todos los puntos de apoyo, las articulaciones y partes análogas de las básculas.

El medidor de agua deberá tener una precisión tal que no se rebase la tolerancia de dosificación establecida en 15.2.4.

Los dosificadores para aditivos estarán diseñados y marcados de tal forma que se pueda medir con claridad la cantidad de aditivo correspondiente a 50 kilogramos de cemento.

#### Comentarios:

Se recomienda utilizar un dosificador diferente para cada aditivo. En caso contrario, antes de hacer el cambio de aditivo deberá limpiarse el sistema dosificador, excepto en el caso en que los diferentes aditivos sean compatibles entre sí.

#### 15.2.4 Dosificación de materias primas.

##### 15.2.4.1 Cemento.

El cemento se dosificará en peso, utilizando básculas y escalas distintas de las utilizadas para los áridos.

Si la cantidad de cemento que se dosifica es superior al 30 por 100 de la capacidad total de la escala de la báscula, la tolerancia en peso de cemento será del  $\pm 1$  por 100. Si tal cantidad es inferior al 30 por 100 de la capacidad total de la escala de la báscula, la tolerancia en peso del cemento estará comprendida entre 0 y + 4 por 100.

##### 15.2.4.2 Áridos.

Los áridos se dosificarán en peso, teniendo en cuenta las correcciones por humedad. Para la medición de la humedad superficial, la central dispondrá de elementos que aporten este dato de forma automática.

Si se utilizan básculas distintas para cada fracción de árido, la tolerancia en el peso total de cada fracción será de  $\pm 2$  por 100.

Si la dosificación de áridos se realiza acumulada, la tolerancia en el peso total de los áridos será de:

- Más o menos el 1 por 100 si el peso total sobrepasa el 30 por 100 de la capacidad total de la escala de la báscula.
- Más o menos el 3 por 100 si el peso total se encuentra entre el 15 por 100 y el 30 por 100 de la capacidad total de la escala de la báscula.
- Más o menos el 0,5 por 100 de la capacidad total de la escala de la báscula, si el peso total se encuentra por debajo del 15 por 100 de dicha capacidad.

#### 15.2.4.3 Agua.

El agua de amasado está constituida, fundamentalmente, por la directamente añadida a la amasada y por la procedente de la humedad de los áridos.

El agua añadida directamente a la amasada se medirá por peso o volumen, con una tolerancia del  $\pm 1$  por 100.

En el caso de amasadoras móviles (camiones-hormigonera), se medirá con exactitud cualquier cantidad de agua de lavado retenida en la cuba para su empleo en la siguiente amasada. Si esto es prácticamente imposible, el agua de lavado deberá ser eliminada antes de cargar la siguiente amasada de hormigón.

El agua total se determinará con una tolerancia del  $\pm 3$  por 100 de la cantidad total prefijada.

#### Comentarios:

Agua total de un hormigón es la formada por el agua directamente añadida a la amasada, el agua aportada por la humedad de los áridos (tanto de absorción como el agua superficial), el agua que pudiera quedar en la amasadora móvil después de un lavado de la misma y el agua que pudieran aportar los aditivos.

Para mantener inalterables las dosificaciones de áridos, éstas se deben haber estudiado considerando el material saturado y con la superficie seca.

La cantidad de agua que hay que añadir directamente a la amasada para conseguir el índice de consistencia especificado depende de la cantidad de agua aportada por los áridos y de la capacidad de retención de las distintas fracciones de éstos.

Es de importancia fundamental conocer el agua superficial que aportan los áridos. En cuanto el agua de absorción y a la capacidad de retención se deben determinar mediante ensayos previos, en cada fracción granulométrica.

El agua superficial se determina durante el proceso de dosificación mediante los medidores de que dispone la central, debiendo tenerse previstos, mediante tablas o gráficos adecuados, los consiguientes cambios que deben realizarse en las fracciones granulométricas y en el agua añadida directamente a la amasada, para mantener la dosificación prevista con el índice de consistencia deseado.

Existe una variada gama de medidores del agua superficial. Unos se basan en la medición de la intensidad de una corriente alterna de baja tensión después de su paso a través de la arena, método que exige un tarado de frecuencia regular. Se debe tener en cuenta que la resistividad del agua contenida en la arena depende de la compactación de ésta, de la temperatura, de la cantidad de sales disueltas y de la limpieza del electrodo (en particular, de su oxidación).

Otros medidores, que se basan en técnicas de absorción atómica o en técnicas ultrasónicas, presentan ventajas respecto a los anteriores en la medición del agua superficial.

#### 15.2.4.4 Aditivos.

Los aditivos pulverulentos deberán ser medidos en peso, y los aditivos en pasta o líquidos, en peso o en volumen.

En ambos casos, la tolerancia será el  $\pm 3$  por 100 del peso o volumen requeridos.

#### 15.2.5 Equipos de amasado.

Los equipos pueden estar constituidos por amasadoras fijas o móviles. Cuando el hormigón se amasa completamente en central y se transporta en amasadoras móviles, el volumen del hormigón transportado no deberá exceder del 80 por 100 del volumen total del tambor. Cuando el hormigón se amasa, o se termina de amasar, en amasadora móvil, el volumen no excederá de los dos tercios del volumen total del tambor.

Tanto las amasadoras fijas como las móviles deberán ser capaces de mezclar los componentes del hormigón de modo que se obtenga una mezcla homogénea y completamente amasada, capaz de satisfacer los dos requisitos del grupo A y, al menos, dos de los del grupo B, de la tabla 15.2.5.

TABLA 15.2.5

#### Comprobación de la homogeneidad del hormigón

Deberán obtenerse resultados satisfactorios en los dos ensayos del grupo A y, al menos, dos de los cuatro del grupo B.

Ensayos		Diferencia máxima tolerada entre los resultados de los ensayos de dos muestras tomadas de la descarga del hormigón (1/4 y 3/4 de la descarga)
Grupo A	1. Consistencia: Si el asiento medio es igual o inferior a 9 centímetros . . . . .	3,0
	Si el asiento medio es superior a 9 centímetros . . . . .	4,0



Ensayos		Diferencia máxima tolerada entre los resultados de los ensayos de dos muestras tomadas de la descarga del hormigón (1/4 y 3/4 de la descarga)
Grupo B	2. Resistencia (*): En porcentaje respecto a la media .....	7,5
	3. Peso del homigón en kp por metro cúbico .....	16,0
	4. Contenido de aire: En porcentaje respecto al volumen del hormigón .....	1,0
	5. Contenido de árido grueso: En porcentaje respecto al peso de la muestra tomada (UNE 7295) .....	6,0
	6. Módulo granulométrico del árido (UNE 7295) .....	0,5

(\*) Por cada muestra se romperán en compresión, a siete días y según el método de ensayo UNE 83304/84, tres probetas cilíndricas de 15 centímetros de diámetro y 30 centímetros de altura. Estas probetas serán confeccionadas y conservadas según el método de ensayo UNE 83301/84.

Se determinará la medida de cada una de las dos muestras como porcentaje de la media total. La diferencia entre dichos porcentajes no sobrepasará el límite indicado en la tabla 15.2.5.

#### Comentarios:

Las amasadoras, tanto fijas como móviles deberán ostentar, en un lugar destacado, una placa metálica en la que se especifique:

- Para las fijas, la velocidad de amasado y la capacidad máxima del tambor, en términos de volumen de hormigón amasado;
- Para las móviles, el volumen total del tambor, su capacidad máxima en términos de volumen de hormigón amasado y las velocidades, máxima y mínima, de rotación.

Las amasadoras fijas deberán tener, además, un temporizador adecuado que no permita descargar la amasada hasta que no se haya cumplido el tiempo de amasado prescrito.

Las amasadoras fijas y las móviles deberán ser examinadas con la frecuencia necesaria para poder detectar residuos de hormigón o mortero endurecido, así como desperfectos o desgastes en las paletas o en superficie interior.

Si del examen se desprende que su eficacia puede haber sido afectada, se procederá a comprobar que se cumple lo estipulado en la tabla 15.2.5. De no ser así, se efectuarán las correcciones necesarias.

#### 15.2.6 Amasado.

El amasado del hormigón se realizará mediante uno de los procedimientos siguientes:

- Totalmente en amasadora fija.
- Iniciado en amasadora fija y terminado en amasadora móvil, antes de su transporte.
- En amasadora móvil, antes de su transporte.

#### Comentarios:

Aunque las técnicas de empleo de las instalaciones de amasado y equipos de suministro vienen condicionadas, en parte, por las características particulares de tales instalaciones, se pueden establecer las siguientes recomendaciones de carácter general:

a) Cuando se utiliza una amasadora fija para el amasado total del hormigón, el tiempo de amasado se contará a partir del momento en que todos los materiales sólidos están en el tambor. Los materiales deberán ser cargados dentro de la amasadora de forma que parte del agua entre antes que el cemento y los áridos y todo el agua esté en el tambor al final de la primera cuarta parte del tiempo fijado para el amasado.

Si no se han hecho ensayos para comprobar la eficacia de la amasadora, el tiempo de amasado para amasadoras de 750 litros o menos de capacidad no deberá ser menor de un minuto. Para amasadoras de capacidad mayor, este tiempo mínimo se incrementará en quince segundos por cada 400 litros o fracción de capacidad adicional.

b) Cuando se utiliza una amasadora fija para un amasado parcial del hormigón, el tiempo de amasado en ella no será mayor del requerido para mezclar los materiales. Después de ser transferida la masa a la amasadora móvil, el amasado en ésta, a la velocidad de régimen, será solamente el necesario para lograr que se cumpla lo estipulado en el último párrafo de 15.2.5. Si la amasadora móvil da más vueltas habrá de hacerlo a la velocidad de agitación y no a la de régimen.

c) Cuando el hormigón se amasa completamente en amasadora móvil, se requiere, normalmente, de 70 a 100 revoluciones a la velocidad de régimen para conseguir que se cumpla lo estipulado en el último párrafo de 15.2.5.

Como en el caso anterior, las revoluciones adicionales que excedan del número necesario para obtener la uniformidad del hormigón se efectuarán a la velocidad de agitación y no a la de régimen.

d) Cuando se utilice una amasadora móvil para transportar hormigón, todas las vueltas durante el transporte se efectuarán a la velocidad de agitación y no a la de régimen.

#### 15.2.7 Transporte.

##### 15.2.7.1 Generalidades.

Para el transporte del hormigón se utilizarán procedimientos adecuados para conseguir que las masas lleguen al lugar de entrega en las condiciones estipuladas, sin experimentar variación sensible en las características que poseían recién amasadas.

El volumen de hormigón transportado no superará los límites indicados, para cada caso, en 15.2.5.

El hormigón podrá ser transportado en amasadoras móviles, a la velocidad de agitación, o en equipos con o sin agitadores, siempre que tales equipos tengan superficies lisas y redondeadas y sean capaces de mantener la homogeneidad del hormigón durante el transporte y descarga, de forma que se cumpla lo estipulado en el último párrafo de 15.2.5.

Antes de transportar hormigón fabricado con un cemento incompatible con el del hormigón anteriormente transportado, el elemento de transporte se limpiará cuidadosamente.

Los equipos de transporte deberán estar exentos de residuos de hormigón o mortero endurecido, así como de desperfectos o desgastes en su superficie interior.

#### Comentarios:

Los equipos de transporte con elementos de agitación deberán llevar en un lugar destacado una placa metálica en la que se especifique el volumen total de la cuba, su capacidad en términos de volumen de hormigón amasado y la velocidad de agitación del tambor o de las paletas.

Se deberá extremar el cuidado en el habitual lavado de los medios de transporte de hormigón entre carga y carga, cuando éstas estén constituidas por hormigones fabricados con distintos tipos de cemento o con otros componentes de características distintas, particularmente cuando se pueda presentar alguna incompatibilidad entre tipos de cemento o entre características de los componentes.

A título orientativo se indica que, en condiciones medias, el tiempo transcurrido entre la adición del agua de amasado al cemento y a los áridos y la colocación del hormigón, no debe ser mayor de hora y media. En tiempo caluroso, o bajo condiciones que contribuyen a un rápido fraguado del hormigón, el tiempo límite deberá ser inferior, a menos que se adopten medidas especiales que, sin perjudicar la calidad del hormigón, aumenten el tiempo de fraguado.

##### 15.2.7.2 Documentación.

Cada carga de hormigón irá acompañada de una hoja de suministro que estará en todo momento a disposición de la Dirección de la obra, y en la que figuren, como mínimo, los datos siguientes:

1. Nombre de la central de fabricación de hormigón.
2. Número de serie de la hoja de suministro.
3. Fecha de entrega.
4. Nombre del utilizador.
5. Especificación del hormigón:

a) La resistencia característica del hormigón y el contenido máximo y mínimo de cemento por metro cúbico de hormigón, cuando se designe por resistencia. Cuando se designe por dosificación, el contenido de cemento por metro cúbico de hormigón.

b) Tipo, clase, categoría y marca del cemento.

c) Consistencia y relación máxima a/c.

d) Tamaño máximo del árido.

e) Tipo de aditivo, según UNE 83.200, si lo hubiere.

f) Procedencia y cantidad de cenizas volantes (8.2), si las hubiere.

6. Designación específica del lugar del suministro (nombre y lugar).

7. Cantidad de hormigón que compone la carga.

8. Hora en que fue cargado el camión.

9. Identificación del camión.

10. Hora límite de uso para el hormigón.

##### 15.2.8 Servicio de control de calidad de producción.

La central dispondrá de un servicio de laboratorio propio o contratado que le permita realizar los ensayos previstos para el control de calidad de producción. Deberá también llevar el correspondiente registro de datos y resultados a disposición de la Dirección de obra.

Las mencionadas obligaciones se cumplimentarán en concordancia con lo dispuesto en el Real Decreto 1280/1976, del Ministerio de Industria y Energía, y disposiciones de él derivadas.

#### 15.2.9 Hormigón preparado.

##### 15.2.9.1 Definición.

Se entiende por hormigón preparado aquel que se fabrica en una central que no pertenece a las instalaciones propias de la obra. En consecuencia, deberá cumplir, además de las especificaciones del presente apartado, todo lo prescrito en los apartados 15.2.1 y 15.2.8.

##### 15.2.9.2 Designación y características.

El hormigón preparado podrá designarse por resistencia o por dosificación.

En ambos casos deberá especificarse, como mínimo:

La consistencia, expresada de acuerdo con 10.6.

El tamaño máximo del árido en milímetros, según se define en el anexo 2.

Además, para los hormigones designados por resistencia se especificará su resistencia característica a compresión (véase 26.1) y para los designados por dosificación, su contenido en cemento, expresado en Kp por metro cúbico de hormigón.

Cuando la designación del hormigón fuese por resistencia, el suministrador establecerá la composición de la mezcla del hormigón, garantizando al utilizador las características especificadas de tamaño máximo del árido, consistencia, resistencia característica y contenido máximo de cemento por metro cúbico de hormigón. Antes de comenzar el suministro, el utilizador podrá pedir al suministrador una demostración satisfactoria de que las materias primas que van a emplearse cumplen los requisitos indicados en los artículos 5, 6, 7 y 8.

Cuando la designación del hormigón fuese por dosificación, el suministrador garantizará al utilizador las características especificadas de tamaño máximo del árido, consistencia y contenido en cemento por metro cúbico de hormigón. Antes de comenzar el suministro, el utilizador podrá pedir al suministrador las proporciones de los componentes del hormigón y una demostración satisfactoria de que las materias primas que van a emplearse cumplen los requisitos indicados en los artículos 5, 6, 7 y 8.

Cuando el utilizador pida hormigón con características especiales u otras, además de las citadas anteriormente, las garantías y los datos que el suministrador deba dar al utilizador serán especificados antes de comenzar el suministro.

En ningún caso se emplearán aditivos ni adiciones sin el conocimiento del utilizador y sin la autorización del Director de obra.

#### Comentarios:

Cuando el hormigón se designa por dosificación el utilizador recaba para sí la responsabilidad de la resistencia que el mismo alcance, a diferencia del otro caso, en que dicha responsabilidad corresponde al suministrador.

Por ello, es recomendable especificar el hormigón preparado por resistencia, salvo en casos de hormigones especiales.

Se recuerda que la homogeneidad del hormigón es una característica exigible en todos los casos, y que la forma de comprobarla viene establecida en el último párrafo de 15.2.5.

La responsabilidad derivada del empleo de un determinado tipo de aditivo corresponde al utilizador en el caso de que sea éste quien lo imponga y del suministrador en caso contrario.

Si el utilizador no hiciere indicación expresa acerca del empleo o prohibición sobre el uso de aditivos, el suministrador puede emplearlos, informando de ello previamente al utilizador y garantizando en cualquier caso el hormigón suministrado.

##### 15.2.9.3 Entrega y control de recepción.

El comienzo de la descarga del hormigón desde el equipo de transporte del suministrador, en el lugar de la entrega, marca el principio del tiempo de entrega y recepción del hormigón, que durará hasta finalizar la descarga de éste.

El utilizador efectuará la recepción del hormigón tomando las muestras necesarias para realizar los ensayos de control, según lo indicado en el capítulo IX.

Cualquier rechazo de hormigón basado en los resultados de los ensayos de consistencia (y aire oculto, en su caso), deberá ser realizado durante la entrega. No se podrá rechazar ningún hormigón por estos conceptos sin la realización de los ensayos oportunos.

El suministrador no será responsable de la consistencia, resistencia o calidad del hormigón al que se haya añadido agua o cualquier otro material por el utilizador o a petición de éste, alterando con ello la composición resultante de la masa fresca.

La actuación del suministrador termina una vez efectuada la entrega del hormigón y siendo satisfactorios los ensayos de recepción del mismo.

En los acuerdos entre el utilizador y el suministrador deberá tenerse en cuenta el tiempo que, en cada caso, pueda transcurrir entre la fabricación y la puesta en obra del hormigón.

#### Comentarios:

Se entiende por lugar de la entrega el sitio o sitios de la obra fijados por el utilizador y aceptador por el suministrador para la recepción del hormigón preparado.

##### 15.3 Hormigón no fabricado en central.

Los medios para la fabricación del hormigón comprenden:

Almacenamiento de materias primas.

Instalaciones de dosificación.

Equipo de amasado.

Para el almacenamiento de materias primas se tendrá en cuenta lo previsto en 5.2 y 7.4 para el cemento y los áridos.

La dosificación de cemento se realizará en peso, pudiendo dosificarse los áridos por peso o volumen. No es recomendable este segundo procedimiento por las fuertes dispersiones a que suele dar lugar.

El amasado se realizará con un período de batido, a la velocidad de régimen, no inferior a un minuto.

#### Comentarios:

Las dispersiones en la calidad del hormigón a que habitualmente conduce este sistema de fabricación no hace aconsejable su empleo como norma general. En caso de utilizarse, convendrá extremar las precauciones en la dosificación, fabricación y control.

#### Art. 16. Puesta en obra del hormigón.

##### 16.1 Colocación.

En ningún caso se tolerará la colocación en obra de masas que acusen un principio de fraguado.

En el vertido y colocación de las masas, incluso cuando estas operaciones se realicen de un modo continuo mediante conducciones apropiadas, se adoptarán las debidas precauciones para evitar la segregación de la mezcla.

No se colocarán en obra capas o tongadas de hormigón cuyo espesor sea superior al que permita una compactación completa de la masa.

No se efectuará el hormigonado en tanto no se obtenga la conformidad del Director de Obra, una vez que se hayan revisado las armaduras ya colocadas en su posición definitiva.

El hormigonado de cada elemento se realizará de acuerdo con un plan previamente establecido en el que deberán tenerse en cuenta las deformaciones previsibles de encofrados y cimbras.

#### Comentarios:

Siempre que sea posible, las probetas de control se fabricarán en el lugar de puesta en obra y no a la salida de la hormigonera, con objeto de que al resultar afectadas por las posibles variaciones ocasionadas por el transporte interior sean verdaderamente representativas del hormigón empleado.

El vertido del hormigón en caída libre, si no se realiza desde pequeña altura, produce inevitablemente, la segregación de la masa. Por tanto, si la altura es apreciable (del orden de los dos metros), deben adoptarse disposiciones apropiadas para evitar que se produzca el efecto mencionado. En general, el peligro de segregación es mayor cuanto más grueso es el árido y menos continua su granulometría, y sus consecuencias son tanto más graves cuanto menor es la sección del elemento que se trata de hormigonar.

#### Art. 18. Hormigonado en tiempo frío.

En general, se suspenderá el hormigonado siempre que se prevea que dentro de las cuarenta y ocho horas siguientes puede descender la temperatura ambiente por debajo de los cero grados centígrados.

En los casos en que, por absoluta necesidad, se hormigone en tiempo de heladas, se adoptarán las medidas necesarias para garantizar que durante el fraguado y primer endurecimiento del hormigón no habrán de producirse deterioros locales en los elementos correspondientes, ni mermas permanentes apreciables de las características resistentes del material.

Si no es posible garantizar que, con las medidas adoptadas, se ha conseguido evitar dicha pérdida de resistencia, se realizarán los ensayos de información (véase artículo 70) necesarios para estimar la resistencia realmente alcanzada, adoptándose, en su caso, las medidas oportunas.

La temperatura de la masa de hormigón, en el momento de verterla en el molde o encofrado no será inferior a + 5 °C.

Se prohíbe verter el hormigón sobre elementos (armaduras, moldes, etcétera), cuya temperatura sea inferior a 0 °C.

El empleo de aditivos anticongelantes requerirá una autorización expresa, en cada caso, del Director de Obra. Nunca podrán utilizarse productos susceptibles de atacar a las armaduras, en especial los que contienen ión cloro.

Cuando el hormigonado se realice en ambiente frío, con riesgo de heladas, podrá utilizarse para el amasado, sin necesidad de adoptar precaución especial alguna, agua calentada hasta una temperatura de 40 °C e incluso calentar, previamente, los áridos.

Cuando excepcionalmente se utilice agua o áridos calentados a temperatura superior a la antes indicada, se cuidará de que el cemento, durante el amasado, no entre en contacto con ella mientras su temperatura sea superior a 40 °C.

Art. 21. Descimbrado, desencofrado y desmoldeo.

Los distintos elementos que constituyen los moldes, el encofrado (costeros, fondos, etcétera), como los apeos y cimbras, se retirarán sin producir sacudidas ni choques en la estructura, recomendándose, cuando los elementos sean de cierta importancia, el empleo de cuñas, cajas de arena, gatos u otros dispositivos análogos para lograr un descenso uniforme de los apoyos.

Las operaciones anteriores no se realizarán hasta que el hormigón haya alcanzado la resistencia necesaria para soportar, con suficiente seguridad y sin deformaciones excesivas, los esfuerzos a los que va a estar sometido durante y después del desencofrado, desmoldeo o descimbrado.

Cuando se trate de obras de importancia y no se posea experiencia de casos análogos, o cuando los perjuicios que pudieran derivarse de una fisuración prematura fuesen grandes, se realizarán ensayos de información (véase artículo 70), para estimar la resistencia real del hormigón y poder fijar convenientemente el momento de desencofrado, desmoldeo o descimbrado.

Se pondrá especial atención en retirar oportunamente todo elemento de encofrado o molde que pueda impedir el libre juego de las juntas de retracción o dilatación, así como de las articulaciones, si las hay.

Para facilitar el desencofrado y, en particular, cuando se empleen moldes, se recomienda pintarlos con barnices antiadherentes que cumplan las condiciones prescritas en el artículo 11.

Comentarios:

Se llama la atención sobre el hecho de que, en hormigones jóvenes, no sólo su resistencia sino también su módulo de deformación presenta un valor reducido, lo que tiene una gran influencia en las posibles deformaciones resultantes.

Resulta útil en ocasiones la medición de flechas durante el descimbrado de ciertos elementos, como índice para decidir si debe o no continuarse la operación e incluso si conviene o no disponer ensayos de carga de la estructura.

Se exige efectuar el descimbrado de acuerdo con un programa previo debidamente estudiado, con el fin de evitar que la estructura quede sometida, aunque sólo sea temporalmente durante el proceso de ejecución, a tensiones no previstas en el proyecto, que puedan resultar perjudiciales.

A título de orientación pueden indicarse los plazos de desencofrado o descimbrado dados por la fórmula:

$$j = \frac{400}{\left(\frac{Q}{G} + 0,5\right) (T + 10)}$$

En la que:

- j = número de días;
- T = temperatura media, en grados centígrados, de las máximas y mínimas diarias durante los j días;
- G = carga que actúa sobre el elemento al descimbrar (incluido el peso propio);
- Q = carga que actuará posteriormente (Q + G = carga máxima total).

Esta fórmula es sólo aplicable a hormigones fabricados con cemento portland y en el supuesto de que su endurecimiento se haya llevado a cabo en condiciones ordinarias.

Se recomienda que la seguridad no resulte en ningún momento inferior a la prevista para la obra en servicio.

24.4 Limitaciones a los contenidos de agua y de cemento:

Los valores de la relación agua/cemento (a/c) y los contenidos en cemento de los hormigones deberán cumplir las limitaciones indicadas en el cuadro adjunto, en función del ambiente al que vayan a estar sometidos. Las definiciones de los diferentes ambientes figuran en 13.3, indicándose con el subíndice h la existencia de heladas, y con el f, la utilización de fundentes.

CUADRO 24.4

Ambiente	Relación máxima a/c	Contenido mínimo en cemento Kg/m <sup>3</sup>	
		Hormigón en masa	Hormigón armado
I	0,65	150	250
II	0,60	175	275
II <sub>h</sub>	0,55	175	300
II <sub>f</sub> (1)	0,50	200	300
III	0,55	200	300
III <sub>h</sub>	0,50	200	300
III <sub>f</sub> (1)	0,50	200	325
Químicamente agresivo (2)	0,50	200	325

(1) En estos casos, deberán utilizarse aireantes que produzcan un contenido de aire ocluido mayor o igual que el 4,5 por 100.

(2) En el caso particular de existencia de sulfatos, el contenido mínimo en cemento de los hormigones en masa se elevará a 250 kilogramos/metro cúbico. Además, tanto para hormigones en masa como para los armados, el cemento deberá ser resistente a los sulfatos si el contenido en sulfatos del agua es mayor o igual que 400 miligramos/kilogramo, o si en suelos es mayor o igual que 300 miligramos/kilogramo.

Comentarios:

Una condición para garantizar la durabilidad del hormigón, así como su colaboración a la protección de las armaduras frente a la corrosión consiste en obtener un hormigón con una permeabilidad reducida. Para obtenerla son decisivos la elección de una relación agua/cemento suficientemente baja, la compactación idónea del hormigón, un contenido adecuado de cemento y la hidratación suficiente de éste, conseguida por un cuidadoso curado.

Las limitaciones al contenido de cemento y de agua del hormigón (esta última, a través de la limitación de la relación agua/cemento) dadas en el articulado son en general suficientes para conseguir la citada garantía.

Se recuerda (artículo 14) que el contenido máximo de cemento del hormigón está limitado a 400 kilogramos/metro cúbico, salvo casos excepcionales.

Art. 25. Características del acero.

25.1 Diagramas tensión-deformación del acero.

Diagrama tensión-deformación de proyecto es el que se adopta como base de los cálculos, asociado en esta instrucción a un nivel de confianza del 95 por 100.

Diagrama característico tensión-deformación del acero en tracción es aquel que tiene la propiedad de que los valores de la tensión, correspondientes a deformaciones no mayores de 10 por 1.000, presentan un nivel de confianza del 95 por 100 con respecto a los correspondientes valores obtenidos en ensayos de tracción realizados según la Norma UNE 7.262.

En compresión puede adoptarse el mismo diagrama que en tracción. A falta de datos experimentales precisos, puede suponerse que el diagrama característico adopta la forma de la figura 25.1.a o 25.1.b, según se trata de aceros con o sin escalón de cedencia netamente marcado, respectivamente, pudiendo tomarse estos diagramas como diagramas de proyecto si se adoptan los valores tipificados del límite elástico dados en el artículo 9.º

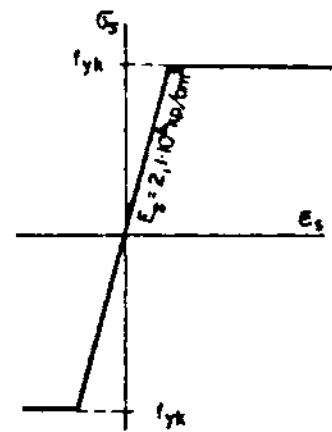


FIG. 25.1.a

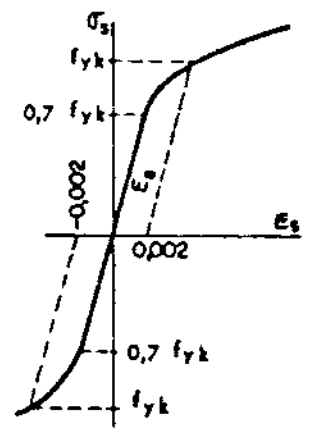


FIG. 25.1.b

En la figura 25.1.b la rama de tracción a partir del valor  $0,7 f_{yk}$ , el diagrama se define mediante la expresión:

$$\text{para } \sigma_s \geq 0,7 \cdot f_{yk}: \epsilon_s = \frac{\sigma_s}{E_s} + 0,823 \left[ \frac{\sigma_s}{f_{yk}} - 0,7 \right]^5$$

La rama de compresión es simétrica de la detracción respecto al origen.

25.3 Diagrama de cálculo tensión-deformación del acero.

El diagrama de cálculo tensión-deformación del acero (en tracción o en compresión) se deduce del diagrama de proyecto mediante una afinidad oblicua, paralela a la recta de Hooke de razón  $1/\gamma_s$ .

Cuando se utilizan los diagramas de las figuras 25.1.a y 25.1.b se obtienen los diagramas de cálculo de las figuras 25.3.a y 25.3.b.

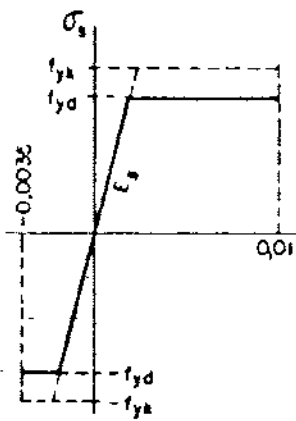


FIG. 25.3 a

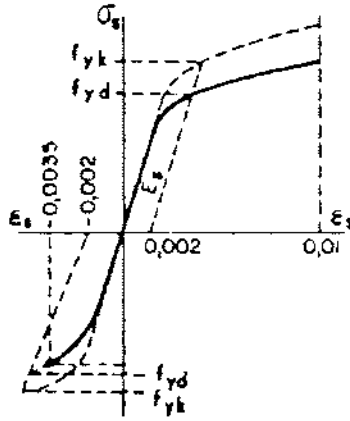


FIG. 25.3 b

Se admite el empleo de diagramas simplificados de cálculo, de tipo birrectilíneo u otros, siempre que su uso conduzca a resultados que queden del lado de la seguridad o estén suficientemente avalados por la experiencia.

26.7 Módulo de deformación longitudinal del hormigón.

Para cargas instantáneas o rápidamente variables, el módulo de deformación longitudinal inicial del hormigón (pendiente de la tangente en el origen de la curva real  $\sigma - \epsilon$ ) a la edad de  $j$  días, puede tomarse igual a:

$$E_{0j} = 21.000 \cdot \sqrt{f_j}$$

En esta expresión  $f_j$  es la resistencia característica a compresión del hormigón a  $j$  días de edad, y debe expresarse en  $\text{kp/cm}^2$  para obtener  $E_{0j}$  en  $\text{kp/cm}^2$ .

Como módulo instantáneo de deformación longitudinal secante  $E_j$  (pendiente de la secante), se adoptará:

$$E_j = 19.000 \sqrt{f_j}$$

Válido siempre que las tensiones, en condiciones de servicio, no sobrepasen el valor de  $0,5 f_j$ .

Si no se realiza el cálculo indicado en 26.9, cuando se trate de cargas duraderas o permanentes podrá tomarse dos tercios de los valores anteriores en climas húmedos y dos quintos en climas secos, para evaluar la deformación diferida final, que, sumada a la instantánea, proporciona la deformación total.

26.9 Fluencia del hormigón.

Comentarios:

Para unas condiciones medias puede suponerse que la deformación total (suma de la instantánea y la diferida) es del orden de dos a tres veces la deformación elástica instantánea. Si se desea una evaluación más aproximada, habrán de tenerse en cuenta las variables citadas en el articulado; lo que puede hacerse del modo que a continuación se indica:

1.º La deformación diferida por fluencia  $\epsilon_t$ , de un elemento de hormigón armado, viene dada por:

$$\epsilon_t = \phi_1 \frac{\sigma}{E_c}$$

donde:

$\phi_1$  es un coeficiente.

$\sigma$  es la tensión constantemente aplicada.

$E_c$  es el módulo de deformación del hormigón a veintiocho días de edad.

Según el apartado 26.7, este módulo vale:

$$E_c = 19.000 \sqrt{f_{ck}} \quad (E_c \text{ en } \text{kp/cm}^2)$$

siendo:

$f_{ck}$  la resistencia característica a compresión expresada en  $\text{kp/cm}^2$ .

2.º El coeficiente  $\phi_1$  puede determinarse con suficiente aproximación mediante la expresión:

$$\phi_1 = \beta_a(j) + \phi_{01} \phi_{02} (\beta_1 - \beta_j) + 0,4 \beta_{1-j}$$

siendo:

$t$  = instante para el cual se evalúa la fluencia.

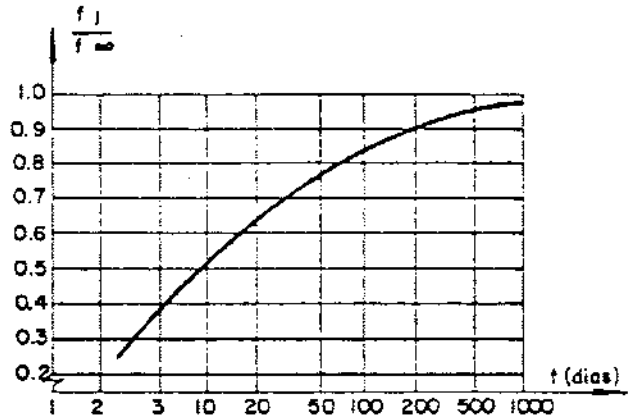
$j$  = edad del hormigón a partir de la puesta en carga (expresado al igual que  $t$  en días a partir de la confección del hormigón).

$\beta_a(j) = 0,8 \left( 1 - \frac{f_j}{f_\infty} \right)$ , el valor de  $\frac{f_j}{f_\infty}$  puede obtenerse, a falta de datos

más precisos procedentes de ensayos, de la figura 26.9.1.

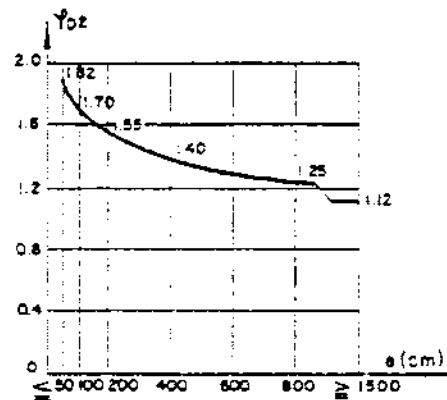
$\phi_{01}$  = coeficiente que depende del medio ambiente (ver tabla 26.9.1).

$\phi_{02}$  = coeficiente que depende del espesor ficticio de la pieza  $e$  (figura 26.9.2).



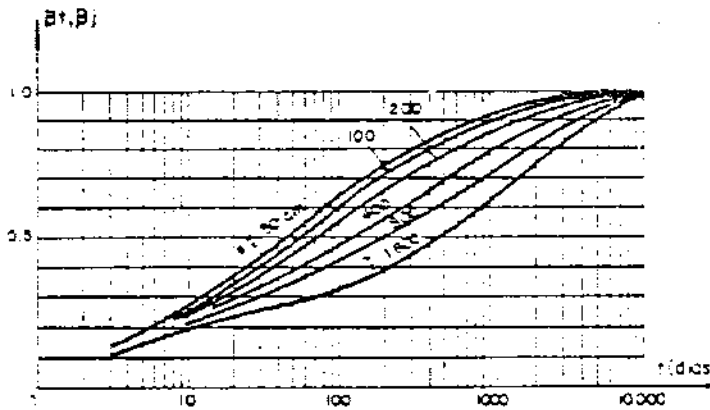
VARIACION DE LA RESISTENCIA DEL HORMIGON CON EL TIEMPO

FIG. 26.9.1



INFLUENCIA DEL ESPESOR FICTICIO SOBRE LA FLUENCIA

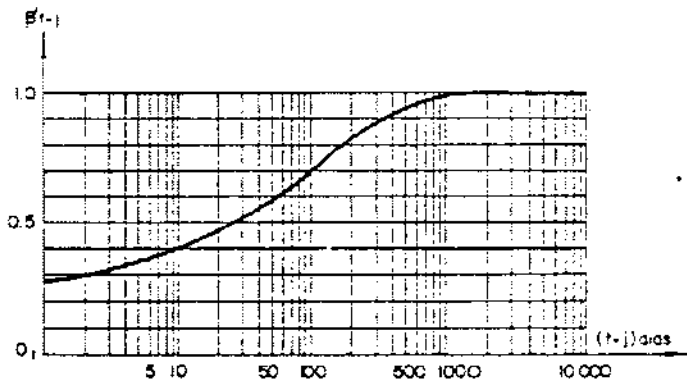
FIG. 26.9.2



EVOLUCION EN EL TIEMPO DE LA DEFORMACION PLASTICA DIFERIDA

FIG. 26.9.3

$\beta_i, \beta_j$  = coeficientes que reflejan la evolución en el tiempo de la deformación plástica diferida (figura 26.9.3).  
 $\beta^{(t-j)}$  = coeficiente que refleja la variación de la deformación elástica diferida en función de la duración  $t-j$  en días del efecto de la fluencia (figura 26.9.4).



EVOLUCION EN EL TIEMPO DE LA DEFORMACION ELASTICA DIFERIDA

FIG. 26.9.4

3.º Las curvas de la figura 26.9.3 corresponden a distintos espesores ficticios de la pieza,  $e$ , que se calculan mediante la expresión:

$$e = \alpha \frac{2A}{u}$$

siendo:

$\alpha$  = el coeficiente dado en la tabla 26.9.1.  
 $A$  = el área de la sección transversal del elemento.  
 $u$  = el perímetro de la sección transversal que está en contacto con la atmósfera. Si una de las dimensiones de la sección es muy grande con respecto a la otra, el espesor ficticio (abstracción hecha del coeficiente corrector por ambiente,  $\alpha$ ) coincide sensiblemente con el real.

4.º En el eje de abscisas del gráfico de la figura 26.9.3 aparece la edad teórica del hormigón en días,  $t$ . Si el hormigón está sometido a temperaturas normales, la edad teórica coincide con la real. Si no es así, se tomará como edad teórica  $t$  la dada por la expresión:

$$t = \frac{\sum_j (T + 10)}{30}$$

donde:

$j$  = es el número de días durante los cuales el endurecimiento se efectúa a una temperatura media diaria de  $T$  grados centígrados.

TABLA 26.9.1

Valor de los coeficientes  $\phi_{0i}$  y  $\alpha$

Ambiente	Humedad relativa aproximada Porcentaje	$\phi_{0i}$	$\alpha$
En el agua .....	100	0,8	30,0
En atmósfera muy húmeda.	90	1,0	5,0
En ambiente seco .....	70	2,0	1,5
En atmósfera seca .....	40	3,0	1,0

5.º Si el hormigón ha sido amasado con gran exceso de agua, la deformación plástica diferida puede alcanzar un valor mayor del indicado, al menos en un 25 por 100. Por el contrario, en hormigones muy secos tal deformación suele ser inferior a la calculada en un 25 por 100.

La deformación elástica diferida no experimenta alteración por este concepto. La corrección afecta, por consiguiente, solo al primer sumando de  $\phi_i$ .

28.3 Valores característicos de las cargas variables.

Comentarios:

Se recuerda la conveniencia de que, en ciertas obras, se haga figurar en una placa, colocada en lugar visible, el valor máximo de la carga para la cual se propone la utilización de la estructura (véase 4.4) para información de los usuarios.

31.1 Estados límites últimos.

Comentarios:

Los valores de los incrementos de los coeficientes de seguridad han sido fijados con el criterio de que al reducirse los niveles de control de los materiales y la ejecución, se incrementan correlativamente los de los coeficientes  $\gamma_s, \gamma_c$  y  $\gamma_f$  de forma que la seguridad final se mantenga aproximadamente constante.

Los criterios establecidos en el articulado para los estados límites últimos se resumen en el cuadro 31.3.

La necesidad de que figuren en los planos los valores de los coeficientes de seguridad y los niveles de control decididos por el Proyectista es evidente. Lo contrario conduciría a que una estructura, proyectada para un cierto nivel de seguridad fijado por el Proyectista tendría en la práctica diferentes niveles de seguridad según los diferentes niveles de control que pudieran adoptarse durante la construcción.

Cuando la importancia de la obra lo justifique podrán corregirse los valores consignados de los coeficientes de seguridad, previos los estudios oportunos, de acuerdo con el criterio de que la probabilidad de hundimiento resultante para la obra proporcione un coste generalizado mínimo de la misma, entendiéndose por coste generalizado el que obtienen sumando:

- El coste inicial de la obra;
- El coste de su mantenimiento y conservación durante su vida de servicio;
- El producto de la probabilidad de hundimiento por la suma del coste de reconstrucción más la cuantía de los daños y perjuicios que pudiera causar aquél.

CUADRO 31.3

Coefficientes de seguridad para los estados límites últimos

Coefficiente de seguridad sobre	Nivel de control	Valor del coeficiente de seguridad
Acero $\gamma_s$	Reducido.	1,20
	Normal.	1,15
	Intenso.	1,10
Hormigón $\gamma_c$	Reducido (1).	1,70
	Intenso (2).	1,40
	Restantes casos.	1,50

Coeficiente de seguridad sobre	Nivel de control	Daños previsibles (4)	Acción desfavorable	Acción favorable de carácter	
				Permanente	Variable
Acciones (3) $\gamma_f$	Reducido.	A	1,70	0,9	0
		B	1,80		
		C	-		
	Normal.	A	1,50		
		B	1,60		
		C	1,80		
	Intenso.	A	1,40		
		B	1,50		
		C	1,70		

- (1) Este nivel de control es adecuado para obras de ingeniería de pequeña importancia y para edificios de viviendas de una o dos plantas. También puede emplearse en aquellos edificios de viviendas hasta cuatro plantas en los que el hormigón sólo se destine a elementos trabajando a flexión con luces moderadas. Con este nivel de control no se adoptará en el cálculo una resistencia de proyecto mayor de 150 kp/cm<sup>2</sup>.
- (2) Este nivel de control es adecuado para obras singulares, así como para elementos prefabricados en instalación industrial permanente. En todos estos casos conviene considerar también como alternativa la modalidad de control total (apartado 64.2).
- (3) Se podrá reducir el valor  $\gamma_f$  en un 5 por 100 cuando la hipótesis y el cálculo sean muy rigurosos, se consideren todas las combinaciones de acciones posibles y se estudien con el mayor detalle los anclajes, nudos, apoyos, enlaces, etc.
- (4) Daños previsibles:

- A) Obras cuyo fallo sólo puede ocasionar daños mínimos y exclusivamente materiales, tales como vías, acequias, obras provisionales, etc.
- B) Obras cuyo fallo puede ocasionar daños de tipo medio, como puentes, edificios de vivienda, etc.
- C) Obras cuyo fallo puede ocasionar daños muy importantes, como teatros, tribunas, grandes edificios comerciales, etc.

Art. 37. Método simplificado del momento tope.

En este método simplificado son válidas las hipótesis a), b) y e) establecidas en 36.1 que se completan con las definiciones e hipótesis que a continuación se indican:

a) Se define como «momento tope» del hormigón en una sección el momento producido, con respecto a la armadura de tracción, por una tensión de compresión igual a  $0,7 f_{cd}$  aplicada uniformemente a toda la sección útil. Se entiende por sección útil el área que corresponde al canto útil, es decir, la comprendida entre la armadura de tracción y el borde opuesto o borde comprimido (figura 37.a).

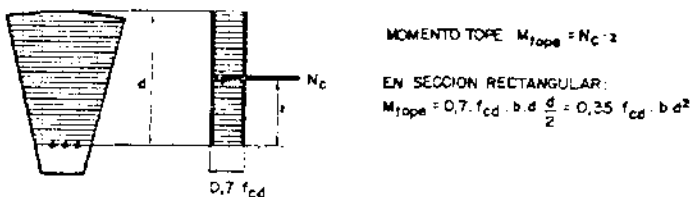


FIG. 37.a

b) A la deformación de agotamiento del hormigón en compresión se le asigna el valor de 0,0035.

c) El diagrama de reparto de tensiones en la zona de hormigón comprimido se asimila a un rectángulo de base igual a la resistencia de cálculo del hormigón  $f_{cd}$  (salvo en el caso de excepción previsto en el punto d) y cuya altura «y» vale:

- cuando  $x \leq d$ ,  $y = 0,75 \cdot x$ ;  
 $x = \frac{3}{4} \cdot d$
- cuando  $x \geq d$ ,  $y = \frac{2}{3} \cdot d$ ;  
 $x = \frac{2}{3} \cdot d$

siendo  $x$  la profundidad de la fibra neutra de deformaciones (profundidad de la zona de hormigón sometida a acortamiento), y  $d$  el canto útil de la sección.

d) Si el rectángulo de compresiones del hormigón, anteriormente definido, proporcionase un momento respecto a la armadura de tracción superior al momento tope, se considerará que la base del rectángulo no es  $f_{cd}$ , sino otra menor, de valor tal que dicho momento respecto a la armadura de tracción resulte precisamente igual al momento tope (figura 37.d).

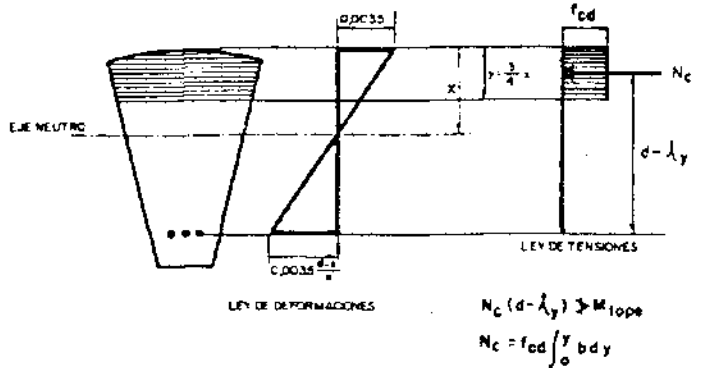


FIG. 37.d

e) Cualquiera que sea el tipo de acero se considerará el siguiente diagrama de cálculo (en tracción o en compresión), que conduce a resultados suficientemente acordes con la realidad (figura 37.e).

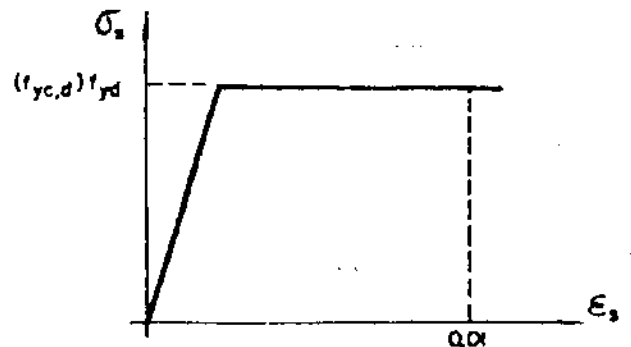


FIG. 37.e

La resistencia de cálculo del acero a compresión  $f_{yc,d}$  se limita, por definición, al valor:

$$f_{yc,d} \geq 4.000 \text{ kp/cm}^2$$

f) Se admite que, si la distancia  $d'$  del centro de gravedad de la armadura de compresión a la fibra extrema más comprimida no es superior al 20 por 100 del canto útil, la tensión de dicha armadura, al llegar al agotamiento, es igual en todos los casos a la resistencia de cálculo del acero. Se recuerda que, para esta resistencia, no debe tomarse nunca un valor superior a 4.000 kp/cm<sup>2</sup>.

Si, excepcionalmente, la distancia  $d'$  resulta superior al valor indicado, deberá determinarse la tensión en la armadura por medio de la ecuación de compatibilidad de deformaciones (figura 37.f).

A partir de las hipótesis mencionadas, estableciendo las ecuaciones de equilibrio y las de compatibilidad de deformaciones, se obtienen las fórmulas prácticas de cálculo incluidas en el anexo 7 de esta Instrucción.

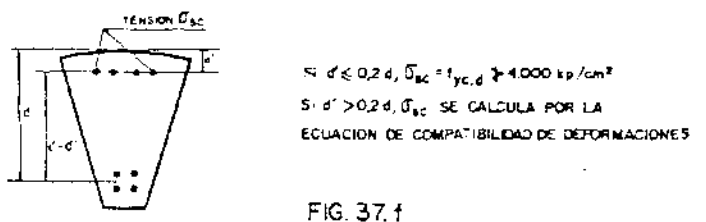


FIG. 37.f

38.1 Flexión simple o compuesta.

En las secciones sometidas a flexión simple o compuesta, si la armadura de tracción  $A_s$  dada por el cálculo es:

$$A_s < 0,25 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \frac{W_1}{h} \quad (1)$$

donde:

$W_1$  = módulo resistente relativo a la fibra más traccionada.  
 $h$  = canto total de la sección.

Se dispondrá como armadura de tracción.

$$\alpha = A_s \text{ donde } \alpha = \left[ 1,5-1,95 \frac{A_s \cdot h \cdot f_{yd}}{f_{cd} \cdot W_1} \right] \quad (2)$$

En el caso particular de secciones rectangulares, la expresión (1) anterior se transforma en:

$$A_s < 0,04 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot A_c \quad (3)$$

donde:

$A_c$  = área de la sección total de hormigón, disponiéndose entonces como armadura de tracción.

$$\alpha = A_s \text{ donde } \alpha = \left[ 1,5-12,5 \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} \right] \quad (4)$$

en donde:

$f_{cd}$  = resistencia de cálculo del acero en tracción  
 $f_{cd}$  = resistencia de cálculo del hormigón en compresión.  
 $A_c$  = área de la sección total del hormigón.

En cualquier caso, deberá comprobarse además que las cuantías geométricas de armadura cumplen lo exigido en la tabla 38.3.

Si existen además armaduras en compresión, para poderlas tener en cuenta en el cálculo, será preciso que vayan sujetas por cercos cuya separación « $s_c$ » sea igual o inferior a 15 veces el diámetro  $\phi_{min}$  de la barra comprimida más delgada, y cuyo diámetro  $\phi_1$  sea igual o superior a la cuarta parte de  $\phi_{max}$ , siendo  $\phi_{max}$  el diámetro de la barra comprimida más gruesa. Si la separación « $s_c$ » entre cercos es inferior a 15  $\phi_{min}$ , su diámetro  $\phi_1$  podrá disminuirse de tal forma que la relación entre la sección del acero y la separación « $s_c$ » siga siendo la misma que cuando se adopta:

$$\phi_1 = \frac{1}{4} \cdot \phi_{max}; \text{ y } s_c = 15 \cdot \phi_{min}$$

Comentarios

La limitación impuesta a la armadura de tracción aparece justificada por la necesidad de evitar que, debido a la insuficiencia de dicha armadura para asegurar la transmisión de los esfuerzos en el momento en que el hormigón se fisura, pueda romperse la pieza sin aviso previo al alcanzar el hormigón su resistencia en tracción.

Se recomienda que, en los casos de flexión compuesta, se disponga una armadura mínima de compresión que cumpla la condición:

$$A'_s \cdot f_{cd} \geq 0,05 N_d$$

En cuanto a la separación « $s_c$ » entre cercos, se recuerda que viene limitada también por la condición  $s \leq 0,85 d$ , establecida en 39.1.3.3.1.

En zonas de solapo y de doblado de las barras puede ser necesario aumentar la cuantía de la armadura transversal.

38.2 Compresión simple o compuesta.

En las secciones sometidas a compresión simple o compuesta, las armaduras principales en compresión  $A'_{s1}$  y  $A'_{s2}$  (véase figura 38.2.a) deberán cumplir las limitaciones siguientes:

$$A'_{s1} \cdot f_{yc,d} \geq 0,05 N_d \quad A'_{s1} \cdot f_{yc,d} \leq 0,5 f_{cd} \cdot A_c$$

$$A'_{s2} \cdot f_{yc,d} \geq 0,05 N_d \quad A'_{s2} \cdot f_{yc,d} \leq 0,5 f_{cd} \cdot A_c$$

en donde:

$f_{yc,d}$  = resistencia de cálculo del acero a compresión.  
 $N_d$  = esfuerzo normal mayorado de compresión, actuante.  
 $f_{cd}$  = resistencia de cálculo del hormigón en compresión.  
 $A_c$  = área de la sección total de hormigón.

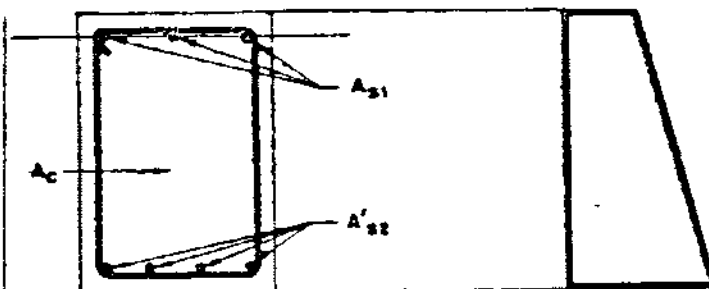


FIG. 38.2.a

Se comprobará, además, que las cuantías geométricas de armadura no son inferiores a los valores exigidos en la tabla 38.3.

La armadura principal estará formada, al menos, por cuatro barras, en el caso de secciones rectangulares, y por seis barras, en el caso de secciones circulares, siendo la separación entre dos consecutivas de 35 cm como máximo. El diámetro de la barra comprimida más delgada no será inferior a 12 mm. Además, tales barras irán sujetas por cercos o estribos, cuya separación « $s_c$ » habrá de ser igual o inferior a quince veces el diámetro  $\phi_{min}$  de la barra comprimida más delgada, y cuyo diámetro  $\phi_1$  habrá de ser igual o superior a 1/4  $\phi_{max}$ , siendo  $\phi_{max}$  el diámetro de la barra comprimida más gruesa. Si la separación  $s_c$  entre cercos es inferior a 15  $\phi_{min}$ , su diámetro  $\phi_1$  podrá disminuirse de tal forma que la relación entre la sección del cerco y la separación  $s_c$  siga siendo la misma que cuando se adopta

$$\phi_1 = \frac{1}{4} \phi_{max}; \text{ y } s_c = 15 \phi_{min}$$

Por otra parte, la separación  $s_c$  entre cercos o estribos no podrá superar la menor dimensión del núcleo limitado por el borde exterior de la armadura transversal.

En soportes circulares, el número mínimo de barras será de seis, pudiendo los estribos ser circulares o adoptando una distribución helicoidal de la armadura transversal.

39.1.3.2.2 Obtención de  $V_{u2}$

El esfuerzo cortante de agotamiento por tracción en el alma vale:

$$V_{u2} = V_{su} + V_{cu}$$

donde:

$V_{su}$  = contribución de la armadura transversal de alma a la resistencia a esfuerzo cortante.

$V_{cu}$  = contribución del hormigón a la resistencia a esfuerzo cortante.

a) Cálculo de  $V_{su}$ :

$$V_{su} = \Sigma A \alpha \cdot f_{yd} \cdot 0,9 \cdot d (\text{sen } \alpha + \text{cos } \alpha)$$

$f_{yd} \cdot d$  = resistencia de cálculo de las armaduras transversales  $\geq 4,200 \text{ kp/cm}^2$

b) Cálculo de  $V_{cu}$ :

En general, el término  $V_{cu}$  de cálculo se tomara igual a:

$$V_{cu} = f_{cv} \cdot b_w \cdot d \quad (1)$$

siendo:

$d$  = canto útil de la sección.

$b_w$  = anchura del alma de la viga.

$f_{cv}$  = resistencia virtual de cálculo del hormigón a esfuerzo cortante, dada en  $\text{kp/cm}^2$  por la expresión:

$$f_{cv} = 0,5 \cdot f_{cd}$$

donde:

$f_{cd}$  es la resistencia de cálculo del hormigón, expresada en kilopondios por centímetro cuadrado.

La comprobación correspondiente a  $V_{u2}$  se efectúa para una sección situada a distancia de un canto útil del borde del apoyo directo (véase 39.1.3.2.3). La armadura correspondiente se lleva hasta el apoyo.

Si en la sección considerada la anchura del alma no es constante, se adoptará como  $b_w$  el menor ancho que presente la sección en una altura igual a los tres cuartos del canto útil, contados a partir de la armadura de tracción (figura 39.1.3.2.2).

En los casos especiales en que la armadura longitudinal de tracción sea superabundante y en aquellos otros en que actúe sobre la sección considerada un esfuerzo normal N de compresión, podrá considerarse para  $V_{cu}$  un valor más alto de (1) siempre que se justifique convenientemente. En ningún caso se admitirá para  $V_{cu}$  un valor mayor del doble del dado por la fórmula (1).

En aquellos casos que sobre la sección considerada actúe un esfuerzo normal de tracción, si la fibra neutra está fuera de la sección, se tomará  $V_{cd} = 0$ . En otros casos de presencia de tracción se asignará a  $V_{cd}$  un valor menor del establecido en (1).

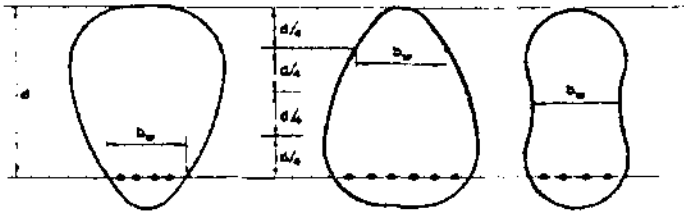


Figura 39.1.3.2.2

39.1.3.3 Disposiciones relativas a las armaduras.

39.1.3.3.1 Armaduras transversales.

La separación  $s_1$  entre cercos o estribos deberá cumplir las condiciones:

$$\begin{aligned} s_1 &\leq 30 \text{ cm.} \\ s_1 &\leq 0,85 d \\ s_1 &\leq 3 b \end{aligned}$$

Si existe armadura de compresión y se tiene en cuenta en el cálculo, los cercos o estribos cumplirán las prescripciones del artículo 38.

En todos los casos se prolongará la colocación de cercos o estribos en una longitud igual a medio canto de la pieza, más allá de la sección en la que teóricamente dejen de ser necesarios.

La separación  $s_1$  entre barras levantadas serán en general menor o igual a 0,85 d, pudiendo llegarse como máximo a 1,2 d para  $\alpha = 45^\circ$  en las zonas en que el esfuerzo cortante no sea máximo.

Todo elemento lineal debe llevar una armadura transversal, llamada de alma, compuesta de barras paralelas a las caras laterales del alma y ancladas eficazmente en una y otra cabeza.

Estas armaduras deben formar con el eje de la viga un ángulo comprendido entre  $45^\circ$  y  $90^\circ$ , inclinadas en el mismo sentido que la tensión principal de tracción producida por las cargas exteriores al nivel del centro de gravedad de la sección de la viga supuesta no fisurada.

La cuantía mínima de tales armaduras debe ser tal que se cumpla la relación:

$$\sum \frac{A_a \cdot f_{ya} \cdot d}{\text{sen } \alpha} \geq 0,02 f_{cd} \cdot b_w$$

donde:

$b_w$  = espesor del alma.  
 $f_{ya} \cdot d$  = resistencia de cálculo de las armaduras transversales  $\geq 4.200$  kp/cm<sup>2</sup>.

En el caso de que se hayan levantado barras como armadura transversal, éstas irán siempre acompañadas por estribos cerrados, los cuales deberán absorber al menos la tercera parte del valor  $V_{u2}$ .

39.1.3.3.2 Armaduras longitudinales.

El efecto de la fisuración oblicua sobre la armadura longitudinal se tiene en cuenta, por exceso, al aplicar las prescripciones del 40.1.

Se recuerda también la conveniencia de disponer armaduras de piel longitudinales en piezas de canto superior a 60 centímetros (véase 51.3).

40.2 Anclaje de las barras lisas.

Salvo justificación especial, las barras lisas que trabajen exclusivamente a compresión se anclarán por prolongación recta o patilla. En los demás casos, las barras se anclarán por gancho.

El gancho normal para barras lisas está formado (figura 40.2.a) por una semicircunferencia de radio interior igual a  $2,5 \phi$ , con una prolongación recta igual a  $2 \phi$ . La patilla normal para barras lisas está formada (figura 40.2.b) por un cuarto de circunferencia de radio interior igual a  $2,5 \phi$  con una prolongación recta igual a  $2 \phi$ .

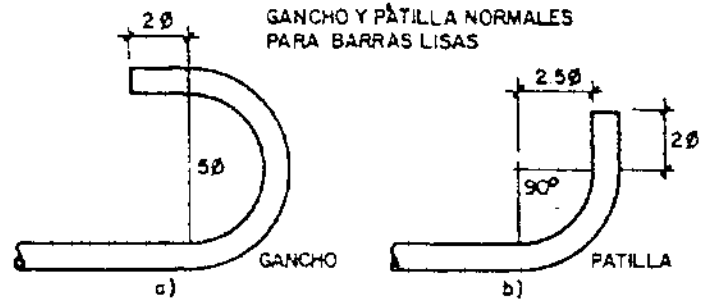


FIG. 40.2.a

FIG. 40.2.b

En la figura 40.2.c se indican las longitudes prácticas de anclaje  $l_b$  que deben adoptarse para las barras lisas en los casos en que se señalan.

Los valores de n se dan en la tabla 40.2.

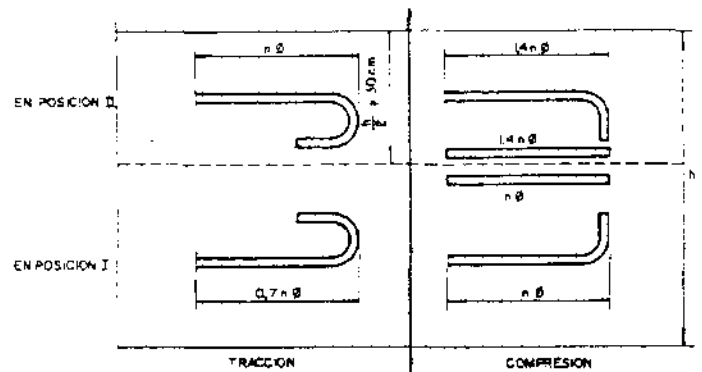


FIG. 40.2.c

TABLA 40.2

Hormigón	n
H-125	47
H-150	43
H-175	40
H-200	37
H-225	35
H-250	33
H-300 o mayor	30

Para anclajes en formas distintas a las anteriormente consideradas podrán descontarse:  $5 \phi$  en el caso de curvas comprendidas entre  $45^\circ$  y  $90^\circ$ ;  $10 \phi$  para curvas entre  $90^\circ$  y  $135^\circ$ , y  $15 \phi$  para curvas entre  $135^\circ$  y  $180^\circ$ .

Art. 44. Comprobación del estado límite de fisuración bajo solicitaciones normales.

44.1 Generalidades

Para evitar una fisuración excesiva, incompatible con el servicio que haya de prestar la estructura, o con la durabilidad de la misma, las armaduras de tracción en las piezas lineales y superficiales de hormigón deberán elegirse y disponerse de forma que se limite la anchura de las fisuras.

No es necesario comprobar el valor de dicha anchura si se verifican las condiciones de 44.4.

Comentarios:

En las estructuras de hormigón armado suele ser inevitable la aparición de fisuras, que no suponen inconveniente para su normal utilización, siempre que se limite su anchura máxima a valores compatibles con las exigencias de durabilidad, funcionalidad, estanquidad y aspecto estético.

Las fisuras a las que se refiere este artículo son fisuras transversales a las barras. Otro tipo de fisuras, como las longitudinales que pueden producirse por diversas causas, pueden ser más peligrosas a efectos de corrosión y degradación del hormigón armado.



Debe hacerse la observación de que bajar en exceso el diámetro de la barra no es el mejor método para reducir la importancia de la fisuración, pues el riesgo de corrosión es mayor con diámetros finos. Es preferible disminuir la tensión de trabajo, aumentando la sección de armaduras por encima de la de cálculo.

44.2 Limitación de la anchura característica de fisura.

En función de las condiciones de ambiente (véase 13.3.b) y para el caso de disponer un recubrimiento mínimo  $c_{min}$  igual a 20 mm o a un diámetro la anchura característica de fisura  $w_k$  calculada según la fórmula de 44.3, cumplirá

Ambiente I	$w_k \leq 0,4$ mm
Ambiente II	$w_k \leq 0,2$ mm
Ambiente III	$w_k \leq 0,1$ mm

Para recubrimientos  $c$  superiores a  $c_{min}$  podrán aumentarse los valores anteriores multiplicándolos por la relación  $c/c_{min} > 1,5$ .

En estructuras expuestas a ambientes químicos especialmente agresivos o que deban asegurar estanquidad a líquidos o gases, el proyectista fijará el límite de la anchura de fisura, disminuyendo prudentemente el valor fijado para el caso de ambiente III.

Comentarios.

44.3 Cálculo de la anchura característica de fisura.

La anchura característica de fisura se calculará mediante la siguiente expresión:

$$w_k = 1,7 s_m \cdot \epsilon_{sm}$$

donde:

$s_m$  = separación media de fisuras en la zona de recubrimiento.  
 $\epsilon_{sm}$  = alargamiento medio de las armaduras en la zona del recubrimiento teniendo en cuenta la colaboración del hormigón entre fisuras.

Los valores de  $s_m$  y  $\epsilon_{sm}$  se evaluarán con las fórmulas experimentales siguientes:

$$s_m = 2c + 0,2s + k_1 k_2 \frac{\sigma_s}{E_s} \frac{A_{c, eficaz}}{A_s}$$

$$\epsilon_{sm} = \frac{\sigma_s}{E_s} \left[ 1 - \frac{k_3}{2,5 k_1} \left( \frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \right] \leq 0,4 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

con los siguientes significados:

$c$  = recubrimiento de las armaduras de tracción.  
 $s$  = distancia entre barras o grupos de barras. Si  $s > 15 \varnothing$  se tomará  $s = 15 \varnothing$ .

En el caso de vigas armadas con  $n$  barras, se tomará

$s = \frac{b}{n} \geq 15$ , siendo  $b$  el ancho de la viga.  
 $k_1$  = coeficiente en función de la calidad de adherencia de las barras, de valor 0,8 para barras lisas y 0,4 para barras corrugadas.  
 $k_2$  = coeficiente que representa la influencia del diagrama de tracciones en la sección de valor.

$$k_2 = \frac{\epsilon_1 - \epsilon_2}{8 \epsilon_1}$$

donde  $\epsilon_1$  y  $\epsilon_2$  son las deformaciones máxima y mínima calculadas en sección fisurada, en los límites de la zona traccionada (fig. 44.3.1).

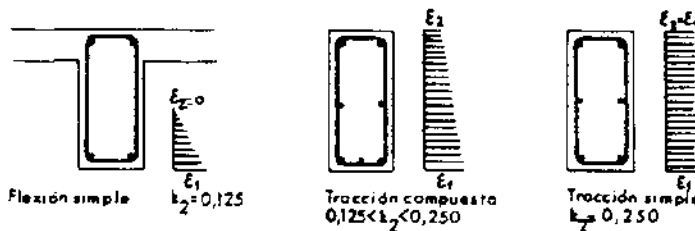


Fig 44.3.1

$\varnothing$  = diámetro de la barra traccionada más gruesa o diámetro equivalente en el caso de grupo de barras.

$A_{c, eficaz}$  = área de hormigón de la zona de recubrimiento en donde las barras a tracción influyen de forma efectiva en el ancho de las fisuras, que puede considerarse como el área rectangular a no más de  $7,5 \varnothing$  alrededor de cada barra o grupo, sin superar la mitad del canto en vigas de canto, ni la cuarta parte en vigas planas o losas (fig. 44.3.2).

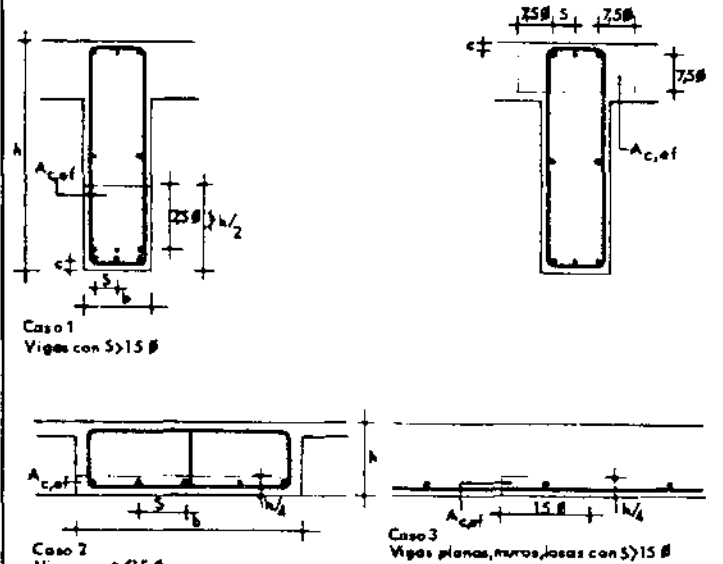


Fig 44.3.2

$A_s$  = sección total de las barras situadas en el área  $A_{c, eficaz}$ .  
 $\sigma_s$  = tensión de servicio de la armadura en hipótesis de sección fisurada.  
 $E_s$  = Módulo de elasticidad del acero.  
 $k_3$  = Coeficiente de valor 1,0 para los casos de carga noval y 0,5 para los restantes.  
 $\sigma_{sr}$  = tensión de la armadura en el instante en que se fisura el hormigón, lo que se supone ocurre cuando la tracción en la fibra más tendida de hormigón alcanza el valor:

$$f_{ct, m} = 1,5 f_{ct, k} = 0,68 \sqrt[3]{f_{ck}^2}$$

donde:

$$f_{ct, m}; f_{ct, k} \text{ y } f_{ck} \text{ se expresan en } \text{kp/cm}^2$$

No es necesario comprobar la anchura de fisura si las armaduras son corrugadas y poseen, para los recubrimientos  $c$  y cuantías geométricas mínimas que se indican, tensiones de servicio inferiores a las de la tabla 44.4.

Comentarios:

El valor de la anchura característica de la fisura se ha adoptado suponiendo que entre la anchura media  $w_m$  y la característica  $w_k$  existe la relación:

$$w_k = 1,7 w_m$$

Para el cálculo aproximado de la tensión de servicio  $\sigma_s$ , puede utilizarse la expresión:

$$\sigma_s = \frac{k \cdot f_{yk}}{\gamma_s \gamma_f} \cdot \frac{A_{s, nec}}{A_{s, real}}$$

siendo:

$k$  = coeficiente para considerar la fracción de cargas permanentes más las sobrecargas frecuentes respecto a la carga total. En edificaciones normales de viviendas y oficinas puede tomarse 0,85.

Para el cálculo aproximado de la tensión en el instante de fisuración puede tomarse, para vigas de sección rectangular en flexión, la expresión:

$$\sigma_{sr} = \frac{bh^2}{6} \cdot \frac{f_{ct,m}}{0,9d \cdot A_s}$$

Para los casos usuales de flexión simple, con barras corrugadas del mismo diámetro, pueden utilizarse las fórmulas simplificadas siguientes, obtenidas a partir de la expresión general del articulado para determinados casos particulares frecuentes que a continuación se indican, y para cuantías normales de armadura:

1. Vigas:

Caso 1:

$$h > 2b, \phi < h/20, s < 15\phi, w_k = 1,7 \left( 2c + 0,84 \frac{b}{n} \right) \frac{\sigma_s}{E_s}$$

Caso 2:

$$b > 2h, \phi > h/40, s < 15\phi, w_k = 1,6 \left( 2c + 0,2 \frac{b}{n} + 0,02 \frac{b}{n} \cdot \frac{h}{\phi} \right) \frac{\sigma_s}{E_s}$$

Dos losas y muros:

$$b > 2h, \phi > h/40, s > 15\phi, w_k = 1,5 (2c + 3\phi + 0,24h) \frac{\sigma_s}{E_s}$$

En los casos donde la cuantía de armadura de tracción es muy pequeña (cuantía mecánica inferior a 0,01) estas fórmulas pueden quedar excesivamente del lado de la seguridad, por lo que en tales casos (por ejemplo, en losas muy poco armadas), puede ser preferible seguir el método general del articulado.

44.4. Método simplificado.

No es necesario comprobar la anchura de fisura si las armaduras son corrugadas y poseen, para los recubrimientos  $c$  y cuantías geométricas mínimas que se indican, tensiones de servicio en  $kp/cm^2$  inferiores a las de la tabla 44.4.

TABLA 44.4

Aplicación del método simplificado

Barras simples	Ambiente I			Ambiente II			
	Recubrimientos $c$ (mm)	Cuantías		Recubrimientos $c$ (mm)	Cuantías		
		$\geq 2\%$	$\geq 3\%$		$\geq 3\%$	$\geq 4\%$	$\geq 6\%$
1 Ø 10	20	3.500	3.600	30	2.600	2.800	3.200
1 Ø 12	20	3.200	3.400	30	2.400	2.500	2.900
1 Ø 16	25	3.100	3.200	30	2.000	2.100	2.500
1 Ø 20	30	2.800	2.900	35	1.800	1.900	2.100
1 Ø 25	35	2.700	2.800	40	1.700	1.800	2.000
1 Ø 32	40	2.200	2.300	45	1.500	1.600	1.700

Grupos de barras	Recubrimientos $c$ (mm)	Cuantías		Recubrimientos $c$ (mm)	Cuantías		
		$\geq 8\%$	$\geq 10\%$		$\geq 6\%$	$\geq 8\%$	$\geq 10\%$
	2 Ø 16	30	3.700	3.700	35	2.200	2.400
2 Ø 20	35	3.600	3.600	40	2.000	2.300	2.500
2 Ø 25	40	3.000	3.300	50	1.500	1.700	1.800

Comentarios:

Los recubrimientos indicados en la tabla 44.4 no son valores exigidos. Pueden utilizarse recubrimientos menores (cumpliendo en todo caso el apartado 13.3); pero en caso de hacerlo así, la comprobación del estado de fisuración debe hacerse mediante el método general descrito en 44.2.

Art. 45. Deformaciones.

45.1 Generalidades:

La deformación total producida en un elemento de hormigón es suma de diferentes deformaciones parciales, cuya clasificación se establece en 26.9.

Cuando por razones funcionales, estéticas, de compatibilidad de las deformaciones de la estructura con otras partes no estructurales de la construcción, u otra razón cualquiera, sea necesario efectuar el cálculo de deformaciones, éste se desarrollará teniendo en cuenta las deformaciones del hormigón, de acuerdo con lo expuesto en 26.7, 26.8 y 26.9, así como la influencia que la fisuración ejerce sobre la rigidez de la pieza.

El estudio de las deformaciones debe realizarse para la pieza en condiciones de servicio, introduciendo en el cálculo los valores característicos de las resistencias de los materiales y de las acciones.

Comentarios:

La deformación de un elemento es función no sólo de las resistencias de los materiales y de las acciones a que está sometido, sino también de la retracción, fluencia, temperatura, condiciones de curado, edad, fechas de descimbrado y puesta en carga, fisuración, adherencia de las armaduras, etc.

Todo ello hace que la estimación de las deformaciones sea tarea compleja y que éstas deban ser consideradas como una variable aleatoria, sólo susceptible de evaluación aproximada.

El autor del proyecto debe considerar que en el caso de piezas que se sustentan o descansan en elementos no estructurales de la construcción, la necesidad de evitar daños en tales elementos puede ser más limitativa, en cuanto a deformaciones de la estructura, de lo que ésta exija como estructura aisladamente considerada.

En muchas estructuras de hormigón, las flechas de las vigas son escasamente importantes en comparación con las de las placas, losas o forjados asociados a ellas. Este punto deberá ser juzgado en cada caso por el autor del proyecto. Sin embargo, en el caso de las llamadas vigas planas, las deformaciones de las propias vigas suelen ser importantes, por lo que su cálculo deberá ser realizado con especial cuidado y a efectos del cálculo de las deformaciones de las plazas, losas o vigas, además de las deformaciones propias de estos elementos deberán considerarse también las de las vigas planas en que apoyan.

45.2 Cálculo de flechas:

Las piezas de hormigón armado sometidas a flexión se proyectarán con la rigidez necesaria para evitar que la flecha resultante pueda afectar a las condiciones de servicio de tales piezas o de otras partes de la construcción. Para comprobar este extremo, se realizará el cálculo de las flechas de acuerdo con lo indicado en 45.1. A falta de cálculos más detallados o determinaciones experimentales directas, podrá utilizarse el método simplificado de 45.3 y 45.4 y adoptarse para el módulo de deformación del hormigón los valores indicados en 26.7.

45.3 Cálculo de las flechas instantáneas.

Para el cálculo de la flecha instantánea, se define como momento de inercia equivalente de una sección el valor  $I_c$  dado por la fórmula:

$$I_c = \left( \frac{M_f}{M_a} \right)^3 I_b + \left[ 1 - \left( \frac{M_f}{M_a} \right)^3 \right] I_f \geq I_b \quad [1]$$

siendo:

$M_f$  = momento nominal de fisuración de la sección, que se calcula mediante la expresión:

$$M_f = \frac{f_{ct} \cdot I_b}{y_1}$$

donde  $f_{ct}$  es la resistencia a flexotracción que se puede tomar igual a  $0,8 \sqrt{f_{ck,j}^2}$ , para  $f_{ct}$  y  $f_{ck,j}$  en  $kp/cm^2$ .

$y_1$  = distancia del c.d.g. de la sección bruta (es decir, considerando el hormigón sin fisuras y no teniendo en cuenta las armaduras), a la fibra extrema en tracción.

$M_a$  = momento flector aplicado en la sección en el estado de carga para el que se calcula la flecha.

$I_b$  = momento de inercia de la sección bruta respecto al eje perpendicular al plano medio de la pieza, que pasa por su c.d.g.

$I_f$  = momento de inercia de la sección fisurada, es decir, despreciando la zona de hormigón sometida a tracción y homogeneizando las áreas de las armadura multiplicándolas por el valor

$$m = \frac{E_s}{E_{c,j}}$$

donde:

$E_s$  = módulo de elasticidad del acero.

$E_{c,j}$  = módulo de deformación del hormigón para cargas instantáneas a la edad  $j$ , definido en 26.7.

Si  $M_a < M_f$ , se tomará  $I_c = I_b$ .

Para piezas simplemente apoyada, se adoptará como inercia media ponderada a lo largo de la luz el valor  $I_c$  correspondiente a la sección central.

Para voladizos, el valor correspondiente a la sección de arranque. En el caso de vigas hiperestáticas, se adoptarán los valores siguientes:

Vanos interiores de dinteles continuos:

$$I_c = 0,70 I_{cm} + 0,15 (I_{c1} + I_{c2})$$

Vanos con un extremo apoyado y el otro continuo:

$$I_c = 0,85 I_{cm} + 0,15 I_{cc}$$

En las expresiones anteriores,  $I_{cm}$  es el valor de  $I_c$  correspondiente a la sección en el punto medio de la luz;  $I_{c1}$  e  $I_{c2}$ , los correspondientes a los apoyos, e  $I_{cc}$ , el relativo al apoyo continuo en el caso de vano con un extremo apoyado y el otro continuo.

Comentarios:

La fórmula adoptada para el valor medio ponderado del momento de inercia proporciona una ley de transición entre el valor  $I_b$  de las secciones no fisuradas y el valor  $I_f$  de las fuertemente fisuradas, y ha sido ajustada experimentalmente de acuerdo con los ensayos disponibles.

45.4 Cálculo de las flechas diferidas.

Las flechas adicionales diferidas, producidas por cargas de larga duración, resultantes de las deformaciones por fluencia y retracción, se pueden estimar, salvo justificación más precisa, multiplicando la flecha instantánea correspondiente por el factor

$$\lambda = \frac{\xi}{1 + 50 \rho'}$$

donde

$\rho' = \frac{A_s'}{bd}$ , siendo  $A_s'$  el área de la armadura comprimida; b, el ancho de la cara comprimida, y d, el canto útil.

$\xi$  = coeficiente función de la duración de aplicación de la carga que se toma igual a:

Cinco o más años .....	2,0
Un año .....	1,4
Seis meses .....	1,2
Tres meses .....	1,0

Art. 46. Elementos estructurales de hormigón en masa.

46.1 Ambito de aplicación.

Comentarios:

Ejemplos de elementos estructurales que pueden construirse de hormigón en masa son entre otros los siguientes: Muros de edificios, en plantas de sótano o en otras plantas, generalmente con mallas de acero en ambas caras; zapatas de cimentación de muros de fábrica o de hormigón; zapatas y pilas de cimentación de pilares de hormigón armado o de acero laminado; muros de contención de tierras en casos de poca altura, etc.

El empleo de otros tipos de refuerzos en determinados elementos de hormigón, tales como fibras de acero, puede tener efectos similares a los de las mallas citadas en el articulado, tales como los de reducir la fisuración y mejorar la ductilidad.

Las presas de hormigón constituyen un ejemplo de estructuras excluidas de este capítulo por tener normativa específica.

Art. 47. Forjados.

Los forjados de hormigón armado se regirán por la Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón armado o pretensado (EF-88) en aquello que les son específico, debiendo cumplir por lo demás los preceptos de esta instrucción.

Art. 50. Piezas en T.

50.1 Anchura eficaz de la cabeza.

Comentarios:

En una sección en T, se denomina anchura eficaz de la cabeza de compresión aquella que, suponiendo que las tensiones se reparten uniformemente en toda la sección comprimida resultante al considerar dicha anchura, proporciona en el cálculo un resultado igual al que se obtendría a partir de la sección real, con su estado real de tensiones. Dicha anchura eficaz depende del tipo de viga (continua o simplemente apoyada), del modo de aplicación de las cargas, de la relación entre el espesor de las alas y el canto de la viga, de la existencia o no de cartabones, de la longitud de la viga entre puntos de momento nulo, de

la anchura del nervio y, en fin, de la distancia entre nervios si se trata de un forjado de vigas múltiples.

Para los casos no considerados en el apartado que se comenta, puede suponerse en primera aproximación que la anchura eficaz del ala, a cada lado del nervio, es igual al décimo de la distancia entre puntos de momento nulo, sin sobrepasar la anchura real del ala.

Respecto a la colocación de armaduras debe tenerse en cuenta el 51.2. Se recuerda, por último, que en las piezas en T exentas deben disponerse las armaduras necesarias para soportar las flexiones del ala, trabajando como un voladizo, bajo la acción del peso propio y de las cargas que puedan actuar sobre ella.

Art. 52. Estructuras reticulares planas.

52.1 Generalidades.

Comentarios:

La redistribución de momentos tiene en cuenta el comportamiento del hormigón más allá de su fase elástica. El apartado que se comenta permite sustituir la curva teórica de momentos flectores por la que resulta de desplazar el eje de abscisas a una recta que pase por valores no superiores a  $0,15 M_1$  y  $0,15 M_2$  (ver figura 52.1.a); en el caso particular de que  $M_1 = M_2 = M$  dicha sustitución equivale a desplazar verticalmente la curva teórica en un valor que no supere  $0,15 M$  (ver figura. 52.1.b).

La condición establecida en el articulado asegura a la sección una ductilidad suficiente para que pueda producirse el giro plástico necesario para que la redistribución tenga lugar, evitando de este modo las roturas localizadas que podrían producirse por fallo del hormigón comprimido.

Conviene advertir que la continuidad de una estructura depende esencialmente de la forma en que se realice su hormigonado y desencofrado. Si la secuencia de dichas operaciones no se ajusta escrupulosamente a un programa previo bien estudiado, el comportamiento real de la estructura puede diferir bastante de las previsiones del cálculo teórico, en especial bajo las cargas permanentes.

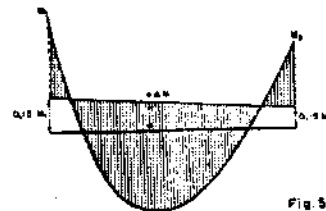


Fig. 52.1.a

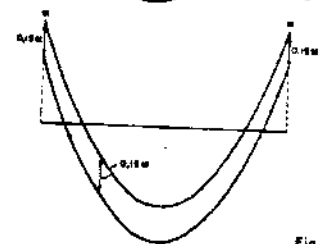


Fig. 52.1.b

55.2 Definiciones.

Capitel: Ensanchamiento del extremo superior de un soporte que sirve de unión entre éste y la placa. Puede no existir.

Abaco: Zona de una placa alrededor de un soporte o de su capitel, que se resalta o si se trata de placa aligerada se maciza sin o con resalto. En las placas macizas puede no existir, y si existe, puede ir acompañado de capitel. En las placas aligeradas su existencia es preceptiva, pudiendo ir acompañado o no de capitel (ver figura 55.2.a).

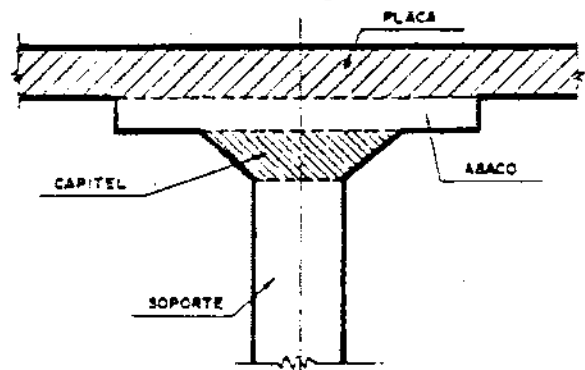


FIG. 55.2.a

Recuadro: Zona rectangular de placa, limitada por las líneas que unen los centros de cuatro soportes contiguos. Para una dirección dada, puede ser interior o exterior (ver figura 55.2.b).

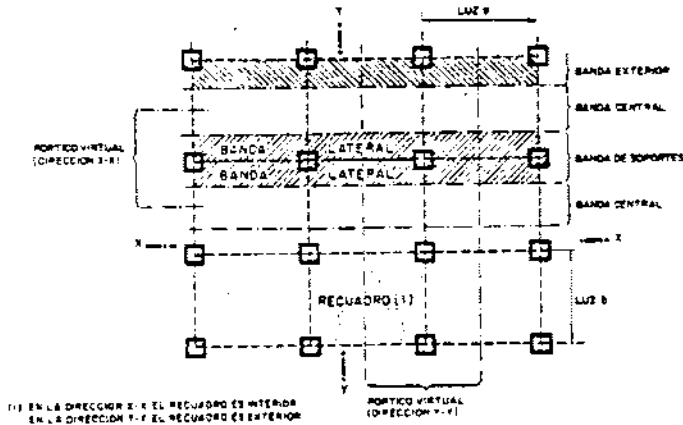


FIG. 55.2.b

Recuadro interior: Aquel que, en la dirección considerada, queda situado entre otros dos recuadros.

Recuadro exterior: Aquel que, en la dirección considerada, no tiene recuadro contiguo a uno de los lados.

Luz: Distancia entre dos líneas paralelas y consecutivas de soportes. También se llama a cada una de las dimensiones a y b del recuadro.

Banda: Cada una de las franjas ideales, paralelas a la dirección del vano que se considera, en que se supone dividido un recuadro (o fila de recuadros) a los efectos de distribución de esfuerzos (ver figura 55.2.b). Se distinguen:

Banda central: Salvo en el caso de excepción indicado en el caso 2 del 55.4, esta banda comprende la mitad central del recuadro (o fila de recuadros).

Banda lateral: Salvo en el caso de excepción indicado en el caso 2 del 55.4, esta banda es la situada lateralmente en el recuadro (o fila de recuadros), de anchura igual a 1/4 de la luz del vano perpendicular a la banda.

Banda de soportes: La formada por dos bandas laterales contiguas, situadas a ambos lados de la línea que une los centros de una fila de soportes.

Banda exterior: Banda lateral de un recuadro exterior (o fila de recuadros), situada sobre la fila de soportes exteriores.

Pórtico virtual: Elemento ideal que se adopta para el cálculo de la placa según una dirección dada. Está constituido por una fila de soportes y dinteles de sección igual a la de la zona de placa limitada lateralmente por los ejes más separados de los recuadros adyacentes a la fila de soportes considerada; es decir, que dicha zona comprende una banda de soportes y dos semibandas centrales, una a cada lado (ver figura 55.2.b).

55.4 Método de cálculo basado en los pórticos virtuales.

Comentarios:

Las limitaciones prescritas en este apartado para las dimensiones de los distintos elementos son las que aconseja la experiencia actualmente existente sobre este tipo de estructuras. El cumplimiento de dichas prescripciones permite al proyectista utilizar el método simplificado de cálculo que se incluye en 55.4.

En los casos ordinarios de placas rectangulares, en las que, para cada dirección las dimensiones de todos los recuadros son iguales (ver figura 55.2.b), los pórticos virtuales resultantes, según X-X, serán idénticos, así como los resultantes, según Y-Y. Bastará entonces calcular sólo un pórtico en cada dirección para tener resuelto el cálculo completo de la placa.

En los casos en que no se cumpla, se hará cálculo elástico.

56.4 Disposiciones relativas a las armaduras.

Salvo justificación especial se cumplirán las siguientes disposiciones:

a) En aquellas zonas de la lámina en que sean determinantes los esfuerzos membrana, el trazado de las armaduras no deberá desviarse en más de 10° de la dirección de los esfuerzos principales de tracción.

b) Las armaduras de la lámina se colocarán en posición rigurosamente simétrica respecto a la superficie media de la misma.

c) La cuantía mecánica en cualquier sección de la lámina cumplirá la limitación:

$$\omega \leq 0,30 + \frac{50}{f_{cd}}$$

En la que  $f_{cd}$  es la resistencia de cálculo del hormigón a compresión, expresada en  $kp/cm^2$ .

d) Si el espesor de la lámina es igual o superior a 7 centímetros, se dispondrán, próximas a los paramentos y en posición simétrica respecto a la superficie media, dos mallas ordinarias formadas como mínimo por alambres  $\varnothing 8$ ; a 30 centímetros entre sí o dos mallas electrosoldadas de alambres  $\varnothing 5$ ; a 20 centímetros entre sí. Si el espesor de la lámina es inferior a 7 centímetros podrán sustituirse las dos mallas mencionadas por una sola, colocada en la superficie media.

En uno y otro caso, estas mallas podrán descontarse de las armaduras exigidas por el cálculo.

e) La distancia entre armaduras principales no será superior a:

- Tres veces el espesor de la lámina si se dispone una malla en la superficie media.

- Cinco veces el espesor de la lámina si se disponen mallas junto a los dos paramentos.

f) Los recubrimientos de las armaduras cumplirán las condiciones generales exigidas en 13.3.

58.8.3 Armadura mínima transversal.

No será preciso disponer armadura transversal en los encepados y zapatas tipo I que cumplan las disposiciones de esta Instrucción. Se exceptúa el caso de los encepados sobre dos pilotes, en los que habrá que disponer una armadura secundaria de acuerdo con el 58.4.1.3.2.2.

En las zapatas y encepados tipo II, la disposición de la armadura transversal estará de acuerdo con el artículo 61.

En las zapatas y encepados tipo III no será preciso disponer armadura transversal, siempre que no sea necesaria por el cálculo y se ejecuten sin discontinuidad en el hormigonado.

Si la zapata o el encepado se comporta esencialmente como una viga ancha y se calcula como elemento lineal, de acuerdo con 58.6.2.1, la armadura transversal estará de acuerdo con lo establecido en 39.1.3.

Si la zapata o el encepado se comporta esencialmente actuando en dos direcciones y se calcula a punzonamiento, de acuerdo con 58.6.2.2, la armadura transversal estará de acuerdo con lo establecido en 39.1.3 y con lo establecido en la figura 55.6.a.

Art. 61. Ménsulas cortas.

61.1 Definición.

Se definen como ménsulas cortas aquellas ménsulas cuya distancia «a», entre la línea de acción de la carga vertical principal y la sección adyacente al soporte, es menor o igual que el canto útil «d», en dicha sección.

El canto útil  $d_1$ , medido en el borde exterior del área donde se aplica la carga, será igual o mayor que 0,5 d.

61.2 Cálculo de las armaduras.

61.2.1 Esfuerzos.

La sección adyacente al soporte deberá ser calculada para resistir simultáneamente un esfuerzo cortante  $V_d = F_{vd}$ , una tracción horizontal  $N_d = F_{hd} \leq F_{vd}$ , y un momento flector  $M_d = F_{vd} \cdot a + F_{hd}(h - d)$ . (Fig. 61.2.1.)

Si la acción horizontal  $F_{hd}$  no pudiese ser definida con precisión, se podrá tomar para la misma un valor  $F_{hd} = 0,2 F_{vd}$ .

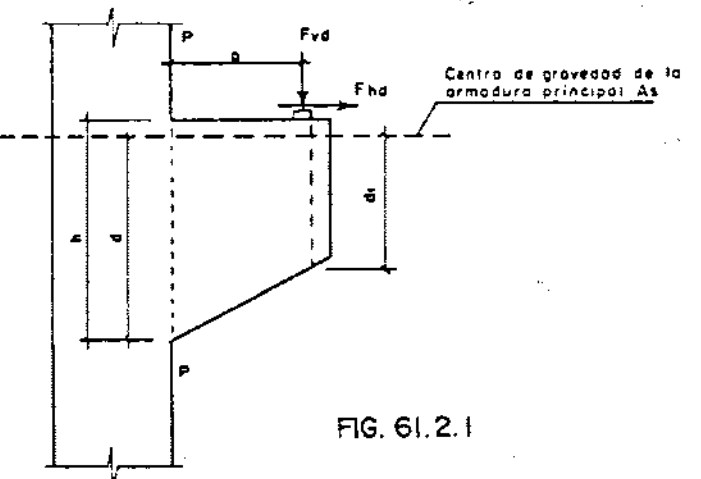


FIG. 61.2.1

Art. 62. Control de calidad.

En esta Instrucción se establece con carácter preceptivo el control de la calidad del hormigón y de sus materiales componentes, así como el control del acero.

El fin del control es verificar que la obra terminada tiene las características de calidad especificadas en el proyecto, que serán las generales de esta Instrucción más las específicas contenidas en el pliego de prescripciones técnicas particulares.

**Comentarios:**

El título 3.º de esta Instrucción desarrolla el control de recepción que se realiza en representación de la Administración o de la propiedad, según los casos. Además del control de recepción, es siempre recomendable la existencia de un control de producción realizado, según el caso, por el fabricante o el constructor.

El control de materiales se efectúa, generalmente, con intervención de laboratorios de control públicos o privados, pudiendo estos últimos estar homologados oficialmente.

**Art. 63. Control de los componentes del hormigón.**

**63.1 Cemento.**

**Comentarios:**

**63.1.1 Especificaciones.**

Las del artículo 5.º de esta Instrucción más las contenidas en el pliego de prescripciones técnicas particulares.

No podrán utilizarse partidas de cemento que no lleguen acompañadas del certificado de garantía del fabricante, según lo prescrito en 5.1.

**Comentarios:**

Especificaciones: Las comprobaciones prescritas en el artículo tienen doble carácter:

- De control de la partida correspondiente, para aceptarla o rechazarla.
- De comprobación del control de fabricación relativo al cemento utilizado, por comparación con los certificados suministrados por el fabricante.

**63.1.2 Ensayos.**

La toma de muestras se realizará según la Reglamentación vigente. Antes de comenzar el hormigonado o si varían las condiciones de suministro, se realizarán los ensayos físicos, mecánicos y químicos previstos en la Reglamentación vigente, además de los previstos en su caso en el pliego de prescripciones técnicas particulares.

Una vez cada tres meses de obra; como mínimo tres veces durante la ejecución de la obra; y cuando lo indique el Director de Obra, se comprobará al menos: Pérdida al fuego, residuo insoluble, principio y fin de fraguado, resistencia a compresión y estabilidad de volumen, según la Reglamentación vigente.

Las exigencias del párrafo anterior podrán sustituirse por el certificado de ensayo previsto en 5.1, cuando el cemento esté en posesión de un sello o marca de conformidad oficialmente homologado.

**63.1.3 Criterios de aceptación o rechazo.**

El no cumplimiento de alguna de las especificaciones será condición suficiente para el rechazo de la partida de cemento.

**63.2 Agua de amasado.**

**63.2.1 Especificaciones.**

Las del artículo 6.º más las contenidas, en su caso, en el pliego de prescripciones técnicas particulares.

**63.2.2 Ensayos.**

Antes de comenzar la obra, si no se tienen antecedentes del agua que vaya a utilizarse; si varían las condiciones de suministro, y cuando lo indique el Director de Obra, se realizarán los ensayos citados en el artículo 6.º

**63.2.3 Criterios de aceptación o rechazo.**

El no cumplimiento de las especificaciones será razón suficiente para considerar el agua como no apta para amasar hormigón, salvo justificación especial de que no altera perjudicialmente las propiedades exigibles al mismo, ni a corto ni a largo plazo.

**63.3 Áridos.**

**63.3.1 Especificaciones.**

Las del artículo 7.º más las contenidas, en su caso, en el pliego de prescripciones técnicas particulares.

**Comentarios:**

Cuando el árido no cumple con las limitaciones de tamaño especificadas en 7.2 y ya se ha hormigonado con él algún elemento, es presumible la existencia de coqueas, para cuya detección resultan

adecuados ensayos de información tales como ultrasonidos, radiografías, etc. (véase artículo 70).

**63.3.2 Ensayos.**

Antes de comenzar la obra, si no se tienen antecedentes de los mismos; si varían las condiciones de suministro o se van a emplear para otras aplicaciones distintas a las ya sancionadas por la práctica; y siempre que lo indique el Director de la Obra, se realizarán los ensayos de identificación mencionados en 7.1 y los correspondientes a las condiciones fisicoquímicas, físico-mecánicas y granulométricas, especificados en 7.3.1, 7.3.2 y 7.3.3.

Se prestará gran atención durante la obra al cumplimiento del tamaño máximo del árido y a lo especificado en 7.2 y 7.3.1. En caso de duda se realizarán los correspondientes ensayos de comprobación.

**63.3.3 Criterios de aceptación o rechazo.**

El no cumplimiento del 7.1 ó del 7.3 es condición suficiente para calificar el árido como no apto para fabricar hormigón, salvo justificación especial de que no altera perjudicialmente las propiedades exigibles al mismo, ni a corto ni a largo plazo.

El no cumplimiento de la limitación 7.2 hace que el árido no sea apto para las piezas en cuestión. Si se hubiera hormigonado algún elemento con hormigón fabricado con áridos en tal circunstancia, deberán adoptarse las providencias que considere oportunas el Director de Obra, a fin de garantizar que, en tales elementos, no se han formado coqueadas o coqueas de importancia que puedan hacer peligrar la sección correspondiente.

**63.4 Otros componentes del hormigón.**

**Comentarios:**

**63.4.1 Especificaciones.**

Las del artículo 8.º más las particulares que pueda contener el pliego de prescripciones técnicas particulares.

No podrán utilizarse aditivos que no se suministren correctamente etiquetados y acompañados del certificado de garantía del fabricante, según lo prescrito en 8.1.

Cuando se utilicen cenizas volantes se acompañará el certificado de los ensayos prescritos en 8.2.

**Comentarios:**

Las prescripciones del articulado vienen a establecer, en espera de una homologación general de los aditivos, una homologación para cada obra en particular, que permite seleccionar al comienzo de la misma las marcas y tipos que pueden emplearse a lo largo de ella sin que sus efectos sean perjudiciales para las características de calidad del hormigón o para las armaduras. Se recomienda que los ensayos sobre aditivos se realicen de acuerdo con las UNE 83.205/85, 83.206/85, 83.207/85, 83.208/85, 83.209/86, 83.225/86, 83.226/86, 83.227/86, 83.240/86, 83.254/87, 83.225/87, 83.256/87, 83.257/87, 83.258/87 y 83.259/87.

Como, en general, no será posible establecer un control permanente sobre los componentes químicos del aditivo en la marcha de la obra, control por otra parte no prescrito, aunque si recomendado cuando sea posible, se establece que el control que debe realizarse en obra sea simple comprobación de que se emplean aditivos aceptados en la fase previa, sin alteración alguna.

Se comprobará que las características de la adición empleada no varían a lo largo de la obra. Se recomienda que los ensayos sobre cenizas volantes se realicen de acuerdo con las UNE 83.421/87, 83.422/86, 83.431/86, 83.432/86, 83.433/86, 83.450/86, 83.451/86 y 83.453/87.

**63.4.2 Ensayos.**

a) Antes de comenzar la obra se comprobará en todos los casos el efecto del aditivo y de la adición sobre las características de calidad del hormigón; tal comprobación se realizará mediante los ensayos previos del hormigón citados en el artículo 67.

Igualmente se comprobará, mediante los oportunos ensayos de laboratorio, la ausencia en la composición del aditivo y de la adición de compuestos químicos que puedan favorecer la corrosión de las armaduras.

Como consecuencia de lo anterior, se seleccionarán las marcas y tipos de aditivos admisibles en la obra, la constancia de cuyas características de composición y calidad garantizará el fabricante correspondiente.

b) Durante la ejecución de la obra se vigilará que el tipo y marca del aditivo y las características de la adición utilizados sean precisamente los aceptados según el párrafo anterior.

**63.4.3 Criterios de aceptación o rechazo.**

El no cumplimiento de alguna de las especificaciones será condición suficiente para calificar el aditivo o la adición como no apto para agregar a hormigones.

Cualquier posible modificación de las características de calidad del producto que se vaya a utilizar, respecto a las del aceptado en los ensayos previos al comienzo de la obra, implicará su no utilización hasta

que la realización, con el nuevo tipo, de los ensayos previstos en a) autorice su aceptación y empleo en la obra.

**Art. 64. Control de la calidad del hormigón.**

El control de la calidad del hormigón se extenderá normalmente a su consistencia y a su resistencia, con independencia de la comprobación del tamaño máximo del árido, según 63.3, o de otras características especificadas en el pliego de prescripciones técnicas particulares.

Este control de la calidad del hormigón se realizará de acuerdo con lo indicado en los artículos 65 a 70 siguientes. La toma de muestras del hormigón se realizará según UNE 83.300/84.

**Comentarios:**

Las características de la calidad citadas son las mínimas normales. En cada caso, el pliego de prescripciones técnicas particulares citará las que, además, sean exigibles y cómo y con qué criterios se realizará el control de las mismas (por ejemplo, relación agua/cemento, contenido en cemento, etc.).

**Art. 65. Control de la consistencia del hormigón.**

**Comentarios:**

**65.1 Especificaciones.**

La consistencia será la especificada en el pliego de prescripciones técnicas particulares o la indicada, en su momento, por el Director de Obra, de acuerdo con 10.6, tanto para los hormigones especificados por tipo de consistencia como para los especificados por asiento en cono de Abrams.

**Comentarios:**

El control de la consistencia pone en manos del Director de la Obra un criterio de aceptación condicionada y de rechazo de las amasadas de hormigón, al permitirle detectar anomalías en la dosificación, especialmente por lo que a la relación agua/cemento se refiere.

Para evitar problemas de rechazo de un hormigón ya colocado en obra (correspondiente al primer tercio de vertido de la amasada) es recomendable efectuar una determinación de consistencia al principio del vertido, aun cuando la aceptación o rechazo debe producirse en base a la consistencia medida en el tercio central.

**65.2 Ensayos.**

Se determinará el valor de la consistencia, mediante el cono de Abrams, de acuerdo con la norma UNE 83.313/87,

- Siempre que se fabriquen probetas para controlar la resistencia.
- En los casos previstos en 69.3.1 de esta Instrucción (control reducido).
- Cuando lo ordene el Director de Obra.

**65.3 Criterios de aceptación o rechazo.**

Si la consistencia se ha definido por su tipo, la media aritmética de los tres valores obtenidos según UNE 83.313/87 tiene que estar comprendida dentro del intervalo correspondiente y ninguno de los tres valores debe quedar fuera del intervalo resultante después de aplicar su tolerancia.

Si la consistencia se ha definido por su asiento, las tres medidas deben estar comprendidas dentro de la tolerancia.

El no cumplimiento de las condiciones anteriores implicará el rechazo automático de la amasada correspondiente y la corrección de la dosificación.

**Art. 66. Control de la resistencia del hormigón.**

Independientemente de los ensayos de control de materiales componentes y de la consistencia del hormigón, a que se refieren los artículos 63 y 65 y de los que puedan prescribirse en el pliego de prescripciones técnicas particulares, los ensayos para el control de la resistencia del hormigón previstos en esta Instrucción con carácter preceptivo son los indicados en el artículo 69.

Otros tipos de ensayos son los llamados de «información», a los que se refiere el artículo 70.

Finalmente, antes del comienzo del hormigonado puede resultar necesaria la realización de ensayos previos y/o ensayos característicos, los cuales se describen en los artículos 67 y 68, respectivamente.

Los ensayos previos, característicos y de control, se refieren a probetas cilíndricas de 15 x 30 centímetros, rotas por compresión a veintiocho días de edad, según UNE 83.301/84, 83.303/84 y 83.304/84.

**Comentarios:**

A continuación se incluye un cuadro en el que se resumen las características de los ensayos establecidos en el articulado.

*Control de la resistencia del hormigón*

Ensayo de compresión	Previos	Característicos	De control	De información		
				Tipo «a»	Tipo «b»	Tipo «c»
Ejecución de probetas:	En laboratorio.	En obra.	En obra.	En obra.	Extraídas del hormigón endurecido.	<b>ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS</b> (Métodos muy diversos)
Conservación de probetas:	En cámara húmeda.	En agua o cámara húmeda.	En agua o cámara húmeda.	En condiciones análogas a las de la obra.	En agua o aire, según proceda.	
Tipo de probetas:	Cilíndricas de 15 x 30.	Cilíndricas de 15 x 30.	Cilíndricas de 15 x 30.	Cilíndricas de 15x30.	Cilíndricas de esbeltez superior a 1.	
Edad de las probetas:	28 días.	28 días.	28 días.	Variable.		
Número mínimo de probetas:	4 x 3 = 12.	6 x 3 = 18.	Véase artículo 69.	A establecer.		
Obligatoriedad:	Preceptivos salvo experiencia previa.	Preceptivos salvo experiencia previa.	Siempre preceptivos.	En general, no preceptivos.		
Observaciones:	Están destinados a establecer la dosificación inicial de obra.	Están destinados a sancionar la dosificación definitiva y los medios utilizados en la obra.	A veces, deben completarse con ensayos de información tipo «b» o tipo «c».	Están destinados a estimar la resistencia real del hormigón a una cierta edad y en unas condiciones determinadas.		

Art. 67. *Ensayos previos del hormigón.*

Se realizarán en laboratorio antes de comenzar las obras, de acuerdo con lo prescrito en el artículo 14. Su objeto es establecer la dosificación que habrá de emplearse, teniendo en cuenta los materiales disponibles y aditivos que se vayan a emplear, y las condiciones de ejecución previstas. En el mencionado artículo 14 se señala, además, en qué caso puede prescindirse de la realización de estos ensayos.

Para llevarlos a cabo, se fabricarán al menos cuatro series de amasadas distintas, de tres probetas cada una por cada dosificación que se desee establecer y se operará de acuerdo con los métodos de ensayo UNE 83.301/84, 83.303/84 y 83.304/84.

De los valores así obtenidos se deducirá el valor de la resistencia media en el laboratorio,  $f_{cm}$ , el cual deberá superar el valor exigido a la resistencia de proyecto con margen suficiente para que sea razonable esperar que, con la dispersión que introduce la ejecución en obra, la resistencia característica real de la obra sobrepase también a la de proyecto.

Art. 68. *Ensayos característicos del hormigón.*

Salvo en el caso de emplear hormigón preparado o de que se posea experiencia previa con los mismos materiales y medios de ejecución, estos ensayos son preceptivos en todos los casos y tienen por objeto comprobar, en general antes del comienzo del hormigonado, que la resistencia característica real del hormigón que se va a colocar en la obra no es inferior a la de proyecto.

Los ensayos se llevarán a cabo sobre probetas procedentes de seis masas diferentes de hormigón, por cada tipo que haya de emplearse, enmolando tres probetas por masas; las cuales se ejecutarán, conservarán y romperán según los métodos de ensayo UNE 83.301/84, UNE 80.303/84 y UNE 83.304/84.

Con los resultados de las roturas se calculará el valor medio correspondiente a cada amasada, obteniéndose la serie de seis resultados medios.

$$x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_6$$

El ensayo característico se considerará favorable si se verifica:

$$x_1 + x_2 - x_3 \geq f_{ck}$$

En cuyo caso se aceptará la dosificación y proceso de ejecución correspondientes.

En caso contrario no se aceptarán, introduciéndose las oportunas correcciones y retrasándose el comienzo del hormigonado hasta que como consecuencia de nuevos ensayos característicos se llegue a dosificaciones y procesos aceptables.

Comentarios:

Estos ensayos tienen por objeto garantizar, antes del proceso de hormigonado, la idoneidad de la dosificación que se vaya a utilizar y del proceso de fabricación que se piensa emplear, para conseguir hormigones de la resistencia prevista en el proyecto.

Como puede comprobarse, el criterio de aceptación es análogo al que se empleará en los ensayos de control a nivel intenso, empleándose tres probetas para definir la resistencia de cada amasada. Esta prescripción tiene por objeto eliminar la posibilidad de un rechazo de dosificación o proceso de fabricación, como consecuencia de un error en la medida de la resistencia de una sola probeta, como consecuencia de deficiente ejecución, conservación, transporte, o del mismo proceso de rotura. Se entiende que el valor medio de una serie de tres probetas representa, con más propiedad que un solo valor, la calidad de la amasada compensando en parte las desviaciones introducidas al confeccionar las probetas.

El mayor costo del ensayo queda compensado por la repercusión económica del mismo sobre el costo de la obra.

Por otra parte, resulta útil ensayar varias dosificaciones iniciales, pues si se prepara una sola y no se alcanza con ella la debida resistencia, hay que comenzar de nuevo con el consiguiente retraso para la obra.

Art. 69. *Ensayos de control del hormigón.*

69.1 Generalidades.

Estos ensayos son preceptivos en todos los casos y tienen por objeto comprobar, a lo largo de la ejecución, que la resistencia característica del hormigón de la obra es igual o superior a la de proyecto.

El control podrá realizarse en dos modalidades:

Control total (control al 100 por 100), cuando se conozca la resistencia de todas las amasadas.

Control estadístico del hormigón, cuando sólo se conozca la resistencia de una fracción de las amasadas que se controlan. En este caso, en función del valor adoptado para  $\gamma_c$  y de acuerdo con el artículo 31 se establecen tres niveles de control estadístico de la calidad del hormigón:

- Control estadístico a nivel reducido.
- Control estadístico a nivel normal.
- Control estadístico a nivel intenso.

En ambas modalidades los ensayos se realizan sobre probetas ejecutadas en obra y conservadas y rotas según UNE 83.301/84, UNE 83.303/84 y UNE 83.304/84.

Comentarios

El objeto de los ensayos de control es comprobar que las características de calidad del hormigón, curado en condiciones normales y a 28 días de edad, son las previstas en el proyecto.

Con independencia de los ensayos de control, se realizarán los de información tipo a (artículo 70) que prescriba el pliego de prescripciones técnicas particulares o indique el Director de la obra, para conocer a una edad, y tras un proceso de curado análogo al de los elementos de que se trata, que el hormigón tiene la resistencia adecuada.

Desde el punto de vista de la aceptación del lote objeto del control, los ensayos determinantes son los que se prescriben en 69.2 y 69.3 o en su caso los derivados del 69.4.

69.3.2 Ensayos de control a nivel normal

Esta modalidad de control es de aplicación a obras en cuyo proyecto se haya adoptado para  $\gamma_c$  un valor  $\gamma_c \geq 1.5$ , en correspondencia con el artículo 31.

A efectos de control, salvo excepción justificada, se dividirá la obra en partes sucesivas (lotes) inferiores cada una al menor de los límites señalados en el cuadro 69.3.2.a. No se mezclarán en un mismo lote elementos de función resistente distinta, es decir, que pertenezcan a columnas distintas del cuadro.

El control tiene por objeto determinar si el hormigón de cada lote es aceptable con arreglo a los criterios de esta Instrucción.

CUADRO 69.3.2.a

Limite superior	Tipo de elementos estructurales		
	Elementos comprimidos (pilares, muros, portales, etcétera)	Elementos en flexión simple (vigas, forjados, muros de contención, etc.)	Macizos (zapatas, estribos de puente, bloques, etcétera)
Volumen de hormigón	50 m <sup>3</sup>	100 m <sup>3</sup>	100 m <sup>3</sup>
Número de amasadas	25	50	100
Tiempo de hormigonado	2 semanas	2 semanas	1 semana
Superficie construida	1.000 m <sup>2</sup>	1.000 m <sup>2</sup>	-
Número de plantas	2	2	-

El control se realiza determinando la resistencia de N amasadas (véase 10.2) en número  $N \geq 2$  y frecuencia que fijará el Director de Obra de no estar prevista en el pliego de prescripciones técnicas particulares, tomadas al azar entre los componentes de la obra sometida a control. Cuando el lote abarque a dos plantas, el hormigón de cada una de ellas deberá dar origen al menos a una determinación.

En todo caso, el contratista podrá utilizar un número de determinaciones superior al mencionado anteriormente, siendo a su costa el sobrecosto del ensayo.

Ordenados los resultados de las determinaciones de resistencia de las N amasadas controladas en la forma:

$$x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_m \leq \dots \leq x_N$$

se define como resistencia característica estimada, en este nivel, la que cumple las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} \text{Si } N < 6: & f_{est} = K_N \cdot x_1 \\ \text{Si } N \geq 6: & f_{est} = 2 \cdot \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_{m-1}}{m-1} - x_m \cdot K_N \cdot x_1 \end{aligned}$$

siendo:

$K_N$  = Coeficiente dado en el cuadro 69.3.2.b en función de N y del tipo de instalación en que se fabrique el hormigón.

$x_1$  = Resistencia de la amasada de menor resistencia.

$m = N/2$  si N es par.

$m = \frac{N-1}{2}$  si N es impar

el lote sometido a control será aceptable si se verifica que:

$$f_{est} \geq f_{ck}$$

CUADRO 69.3.2.b

Valores de  $K_N$ 

N	Hormigones fabricados en central con control de producción según 15.2.5		Otros casos
	Con supervisión externa independiente	Sin supervisión externa independiente	
2	0,90	0,88	0,76
3	0,93	0,91	0,81
4	0,95	0,93	0,86
5	0,96	0,95	0,89
6	0,97	0,96	0,92
7	0,98	0,97	0,94
8	0,99	0,98	0,96

## Comentarios:

Se consideran en este nivel los casos frecuentes en que las determinaciones de resistencia de las amasadas componentes de la parte de obra sometida a control no responden a criterios sistemáticos, en su número ni en su frecuencia. Es posible, por lo tanto, que puedan introducirse errores en la fabricación del hormigón, de trascendencia para su resistencia, no fácil ni inmediatamente detectables. Para reducir en lo posible tales efectos, se establece que  $\gamma_c$  sea igual o superior a 1,5.

En realidad, en este nivel, la función para determinar la resistencia característica estimada sería  $f_{est} = K_N \cdot X_1$ , con los significados establecidos  $K_N$  y  $X_1$ . Tal función exige conocer el coeficiente de variación  $\delta$  de la población para poder aplicarse con toda corrección, puesto que  $K_N$  es función de tal coeficiente de variación y del número N. Sin embargo, como para que la estimación de  $\delta$  tenga una fiabilidad aceptable es necesario que se controle un número de amasadas N superior al que habitualmente se emplea, y, como por otra parte, a partir de N = 6 las diferencias entre los valores  $K_N$ , para el mismo valor de N y diferentes coeficientes de variación es inferior al 5 por 100, se ha preferido ligar los valores de  $K_N$  al tipo de control con que se fabrica el hormigón, desligándolo del cálculo de  $\delta$ , mediante la aceptación previa de las siguientes hipótesis:

- que los hormigones fabricados en central tienen un coeficiente de variación del orden de 0.10 a 0.13 y tanto menor cuanto más fiable sea el control de producción;
- que los restantes hormigones tienen un coeficiente de variación del orden de 0.20 a 0.23.

A partir de estas hipótesis y otorgando una probabilidad de aceptación homogénea para todos los casos, se obtienen los valores de  $K_N$ , que figuran en el cuadro 69.3.2.b.

Aquellos hormigones preamados que están en posesión de un Sello o Marca de Conformidad oficialmente homologado constituyen un ejemplo de central sometida a supervisión externa independiente (inspección). Esta modalidad, en la que los controles de producción son revisados y contrastados mediante ensayos por parte de un Organismo independiente, proporciona una fiabilidad máxima.

Cuando no existe supervisión externa independiente, sólo el Director de Obra puede juzgar si el control sistemático de la fabricación del hormigón es suficiente, para lo cual puede tener en cuenta el coeficiente de variación de los resultados de los ensayos ya realizados desde el origen de un suministro homogéneo.

Con lo anterior, en los casos de  $N \geq 6$  la discrepancia producida en  $f_{est}$  por una errónea estimación de  $\delta$  será prácticamente insignificante, habiéndose aceptado la posibilidad de emplear una segunda función de estimación, dependiente únicamente de los valores muestrales, y prevista, en principio, para el control a nivel intenso, a fin de paliar aún más los posibles casos en que la diferencia en cuestión, aún pequeña, pudiera tener importancia.

Los casos en que  $N < 6$  son los que presentan más dificultad, puesto que ni es posible estimar  $\delta$  con precisión ni introducir un segundo estimador de comparación; en ellos, evidentemente, una errónea estimación previa de su coeficiente de variación puede tener repercusiones a la hora de la aceptación. Cuando sea posible la realización de los ensayos de una manera sistemática, se recomienda comenzar la serie de ensayos con valores de  $N \geq 6$ , continuando con la misma extensión de la muestra durante el control de los cuatro o cinco primeros lotes; con la totalidad de los valores muestrales obtenidos puede entonces calcularse el coeficiente de variación de la población con suficiente garantía y, una vez cerciorados del caso de que se trata a efectos de la elección de  $K_N$ , reducir el valor de N en el control de los restantes lotes de la obra.

Finalmente, debe añadirse que los valores dados en el cuadro 69.3.2.a, aptos para la gran generalidad de la obra, pudieran requerir una juiciosa adaptación en algún caso singular, cuando su aplicación directa conduzca a muestreos excesivos.

## 69.3.3 Ensayos de control a nivel intenso.

Este tipo de control es preceptivo siempre que la resistencia de proyecto sea mayor de 250 kp/cm<sup>2</sup> o cuando para  $\gamma_c$  se adopte un valor < 1,5 de conformidad con el artículo 31.

A los efectos del control se dividirá la obra en lotes, con arreglo a los criterios del cuadro 69.3.2.a, siendo el objeto del control determinar si el hormigón componente de cada uno de los lotes es aceptable, con arreglo al contenido de esta Instrucción.

El control de cada lote se realiza sobre un número N de determinaciones de resistencia de otras tantas amasadas, tomadas al azar, entre las componentes del lote controlado. Los valores de N se establecerán, de acuerdo con la sistemática que se define en este artículo.

En general, obtenidas las resistencias de N amasadas y ordenadas de menor a mayor en la forma:

$$x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_m \leq \dots \leq x_N$$

se define la resistencia característica estimada de la parte del lote sometido a control, por:

$$f_{est} = 2 \cdot \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_{m-1}}{m-1} - x_m \leq K_N \cdot x_1$$

siendo:

$$m = N/2 \text{ o } \frac{N-1}{2} \text{ según sea N par o impar, respectivamente.}$$

$K_N$  = Parámetro definido en 69.3.2 para el caso de control a nivel normal, función del valor N y del tipo de instalación en que se fabrique el hormigón.

El lote sometido a control será aceptable si se verifica que:

$$f_{est} \geq f_{ck}$$

La sistemática de la aplicación de este nivel de control a la totalidad de la obra será la siguiente:

Al comienzo del control, se tomará  $N = 12$ ; cuando en cuatro lotes consecutivos, con  $N = 12$  se haya obtenido aceptación ( $f_{est} \geq f_{ck}$ ), se tomará, en los siguientes,  $N = 6$ . Se volverá a tomar  $N = 12$  a partir del momento en que con  $N = 6$  se obtenga  $f_{est} < f_{ck}$ , volviéndose a tomar  $N = 6$  tan pronto como en cuatro lotes consecutivos se obtenga  $f_{est} \geq f_{ck}$ . Este proceso se repetirá tantas veces como sea preciso.

## 69.4 Decisiones derivadas del control de resistencia.

Cuando en un lote de obra sometida a cualquier nivel de control sea  $f_{est} \geq f_{ck}$ , tal lote se aceptará.

Si resultase  $f_{est} < f_{ck}$ , a falta de una explícita previsión del caso en el pliego de prescripciones técnicas particulares de la obra y sin perjuicio de las sanciones contractuales previstas (véase 4.4), se procederá como sigue:

- Si  $f_{est} \geq 0,9 f_{ck}$ , el lote se aceptará.
- Si  $f_{est} < 0,9 f_{ck}$ , se podrán utilizar a juicio del Director de Obra a costa del constructor los estudios y ensayos que procedan de entre los siguientes:

- Estudio de la seguridad de los elementos que componen el lote, en función de la  $f_{est}$  deducida de los ensayos de control, para estimar la variación del coeficiente de seguridad global respecto del previsto en el Proyecto.

- Ensayos de información para estimar la resistencia del hormigón puesto en obra, de acuerdo con lo especificado en el artículo 70, realizando un estudio análogo al mencionado en el párrafo anterior, basado en los nuevos valores de resistencia obtenidos.

- Ensayos estáticos de puesta en carga (prueba de carga), de acuerdo con 73.2, en elementos estructurales sometidos a flexión. La carga de ensayo no excederá del valor característico de la carga tenida en cuenta en el cálculo.

En función de los estudios y ensayos ordenados por el Director de Obra y con la información adicional que el constructor pueda aportar a su costa, aquel decidirá si los elementos que componen el lote se aceptan, refuerzan o demuelen, habida cuenta también de los requisitos referentes a la durabilidad y a los estados límites de servicio.

## Comentarios:

Antes de tomar la decisión de aceptar, reforzar o demoler, el Director de Obra, para estimar la disminución de la seguridad, podrá consultar con el proyectista y con organismos especializados.

En ciertos casos, el Director de Obra podrá proponer a la propiedad, como alternativa a la demolición o refuerzo, una limitación de las cargas de uso.

En general, de una prueba de carga no se puede deducir que el margen de seguridad de la estructura en servicio es suficiente, salvo en el caso en que la prueba se lleve hasta rotura (lo que es de aplicación,



por ejemplo, en elementos prefabricados que se repiten). No obstante, la realización de una prueba de carga juiciosamente efectuada e interpretada, puede aportar datos útiles que coadyuven a la toma de decisión final.

Debe tenerse siempre presente que la resistencia del hormigón es, además de una cualidad valiosa en sí misma, un estimador indirecto de importantes propiedades, como el módulo de elasticidad y la resistencia frente a agentes agresivos relacionadas íntimamente con la calidad de hormigón. Por consiguiente, cuando se obtenga una resistencia estimada menor de la especificada, es preciso considerar no sólo la posible influencia sobre la seguridad mecánica de la estructura, sino también el efecto negativo sobre otras características, como la deformabilidad, fisurabilidad y la durabilidad.

#### Art. 70. Ensayos de información del hormigón.

Estos ensayos sólo son preceptivos en los casos previstos por esta Instrucción en los artículos 18, 21 y 69.4, o cuando así lo indique el pliego de prescripciones técnicas particulares. Su objeto es estimar la resistencia del hormigón de una parte determinada de la obra, a una cierta edad y/o tras un curado en condiciones análogas a las de la obra.

Los ensayos de información del hormigón pueden consistir en:

a) La fabricación y rotura de probetas, en forma análoga a la indicada para los ensayos de control (véase artículo 69), pero conservando las probetas no en condiciones normalizadas, sino en las que sean lo más parecidas posible a aquellas en las que se encuentra el hormigón cuya resistencia se pretende estimar.

b) La rotura de probetas testigo extraídas del hormigón endurecido (métodos de ensayo UNE 83.302-84, UNE 83.303-84 y UNE 83.304-84). Esta forma de ensayo no deberá realizarse cuando dicha extracción afecte de un modo sensible a la capacidad resistente del elemento en estudio.

c) El empleo de métodos no destructivos fiables, como complemento de los anteriormente descritos y debidamente correlacionados con los mismos.

El Director de Obra juzgará en cada caso los resultados, teniendo en cuenta que para la obtención de resultados fiables la realización siempre delicada de estos ensayos deberá estar a cargo de personal especializado.

#### Comentarios:

La realización de estos ensayos tiene interés, entre otros, en los siguientes casos:

Cuando no se dispone de suficiente número de resultados de control o en los casos previstos en 69.4.

Cuando existan dudas razonables sobre las condiciones de ejecución de la obra (transporte, vertido, compactación y curado de hormigón).

Para seguir el progresivo desarrollo de resistencia en hormigones jóvenes, estimando así el momento idóneo para realizar el desencofrado o la puesta en carga de elementos estructurales.

En estructuras con síntomas de deterioro o que han estado sometidas a determinadas acciones que podrían haber afectado a su capacidad resistente (sobrecargas excesivas, fuego, heladas, etc.).

Cuando por cambios de uso, una determinada estructura va a soportar acciones no previstas en el proyecto inicial.

Para la rehabilitación de edificios.

En general, los resultados que dan los ensayos del tipo a) suelen quedar del lado de la seguridad, ya que el pequeño tamaño de las probetas y, por tanto su menor inercia en todos los aspectos, actúa en sentido desfavorable por lo que el hormigón de dichas probetas suele resistir menos que el del elemento que ellas representan.

Respecto a la extracción de probetas testigo, se llama la atención sobre el hecho de que para que sean representativas tales probetas deben poseer unas dimensiones mínimas determinadas, función del tamaño de los áridos y que pueden dar resistencias inferiores a las de las probetas enmoldadas. Estas dimensiones vienen establecidas en el método de ensayo UNE 83.302-84.

Entre los ensayos no destructivos autorizados en el apartado c) del articulado, pueden considerarse los ensayos UNE 83.307 «Índice de rebotes» y UNE 83.308/86 «Velocidad de propagación de ultrasonidos», cuya fiabilidad aumenta cuando se combinan ambos simultáneamente con la extracción y rotura de probetas testigo.

#### Art. 71. Control de la calidad del acero.

##### 71.1 Generalidades.

En correspondencia con el valor adoptado para  $\gamma_s$  de acuerdo con el artículo 31, se establecen los siguientes niveles para controlar la calidad del acero:

- Control a nivel reducido.
- Control a nivel normal.
- Control a nivel intenso.

No podrán utilizarse partidas de acero que no lleguen acompañadas del certificado de garantía del fabricante, según lo prescrito en el artículo 9.º

##### 71.3 Control a nivel normal.

Corresponde a  $\gamma_s = 1,15$ .

El control consiste en:

Tomar dos probetas por cada diámetro y cantidad de 20 toneladas o fracción para sobre ellas:

Verificar que la sección equivalente cumple lo especificado en el apartado 9.1.

En caso de barras corrugadas verificar que las características geométricas de sus resaltes están comprendidas entre los límites admisibles establecidos en el certificado de homologación (apartado 9.3).

Realizar después de enderezado los ensayos de doblado simple a 180º y de doblado-desdoblado según 9.2, 9.3 y 9.4 y las UNE 36.088/I/81, 36.092/I/79, 36.097/I/79 y 36.099/I/79.

Determinar, al menos, en dos ocasiones durante la realización de la obra, el límite elástico, carga de rotura y alargamiento en rotura como mínimo en una probeta de cada diámetro empleado. En el caso particular de las mallas electrosoldadas se realizarán, como mínimo, dos ensayos por cada diámetro principal empleado; y dichos ensayos incluirán la resistencia al arrancamiento del nudo soldado según la UNE 36.462/80.

En el caso de existir empalmes por soldadura verificar de acuerdo con lo especificado en el apartado 71.5 para el soldeo en obra.

##### 71.4 Control a nivel intenso.

Corresponde a  $\gamma_s = 1,1$ .

El control consiste en:

Tomar dos probetas por cada diámetro y cantidad de 20 toneladas o fracción, para sobre ellas:

Verificar que la sección equivalente cumple lo especificado en 9.1.

En el caso de barras corrugadas verificar que las características geométricas de sus resaltes están comprendidas entre los límites admisibles establecidos en el certificado de homologación (ver 9.3).

Realizar después de enderezado los ensayos de doblado simple a 180º y de doblado-desdoblado según 9.2, 9.3 y 9.4 y las UNE 36.088/I/81, 36.092/I/79, 36.097/I/79 y 36.099/I/79.

Realizar ensayos periódicos y sistemáticos de comprobación de las características del material especificadas en el artículo 9.º, no menos de tres veces en el curso de la obra y con un mínimo de una comprobación por cada 50 toneladas. En cada comprobación se tomarán al menos dos probetas procedentes de cada diámetro utilizado.

En el caso de existir empalmes por soldadura se verificará la aptitud para el soldeo en obra según 71.5 al menos dos veces en el curso de la obra por diámetro.

##### 71.6 Condiciones de aceptación o rechazo de los aceros.

Según el resultado de los ensayos a que ha sido sometido el acero y según los tres tipos de control admitidos se ajustará la Dirección de obra a los siguientes criterios de aceptación o rechazo:

###### a) Control a nivel reducido.

Comprobación de la sección equivalente: Si las dos verificaciones que han sido realizadas resultan satisfactorias, la partida quedará aceptada. Si las dos resultan no satisfactorias, la partida será rechazada. Si se registra un solo resultado no satisfactorio, se verificarán cuatro nuevas muestras correspondientes a la partida que se controla; y si alguna de estas nuevas cuatro verificaciones resulta no satisfactoria la partida será rechazada. En caso contrario, será aceptada.

Formación de grietas o fisuras en los ganchos de anclaje: La aparición de grietas o fisuras en los ganchos de anclaje de cualquier barra, obligará a rechazar toda la partida a la que la misma corresponda.

###### b) Control a nivel normal o a nivel intenso.

Comprobación de la sección equivalente: Se efectuará igual que en el caso de control a nivel reducido.

Características geométricas de los resaltes de las barras corrugadas: El incumplimiento de los límites admisibles establecidos en el certificado de homologación, será condición suficiente para que se rechace la partida correspondiente.

Ensayos de doblado simple y de doblado-desdoblado.—Si los resultados obtenidos en las dos probetas ensayadas son satisfactorios, la partida quedará aceptada. Si fallase uno de los resultados, se someterán a ensayo cuatro nuevas probetas. Cualquier fallo registrado en estos nuevos ensayos obligará a rechazar la partida correspondiente. Finalmente, si los resultados obtenidos en las dos probetas inicialmente ensayadas no son satisfactorios, la partida será rechazada.

Ensayos de tracción para determinar el límite elástico, la carga de rotura y el alargamiento en rotura.—Mientras los resultados de los ensayos sean satisfactorios se aceptarán las barras del diámetro correspondiente. Si se registra algún fallo, todas las barras de ese mismo diámetro existentes en obra y las que posteriormente se reciban, serán clasificadas en lotes correspondientes a las diferentes partidas suminis-

tradas sin que cada lote exceda de las 20 toneladas. Cada lote será controlado mediante ensayos sobre dos probetas. Si los resultados de ambos ensayos son satisfactorios, el lote será aceptado. Si los dos resultados fuesen no satisfactorios, el lote será rechazado, y si solamente uno de ellos resulta no satisfactorio, se efectuará un nuevo ensayo completo de todas las características mecánicas que deben comprobarse, sobre 16 probetas. El resultado se considerará satisfactorio si la media aritmética de los dos resultados más bajos obtenidos supera el valor garantizado y todos los resultados superan el 95 por 100 de dicho valor.

En caso contrario el lote será rechazado.

Ensayo de soldeo.—En caso de registrarse algún fallo en el control del soldeo en obra, se interrumpirán las operaciones de soldadura y se procederá a una revisión completa de todo el proceso.

#### c) Control de aceros homologados en obras de edificación.

En las obras de edificación, si el material ostenta el sello de conformidad CIETSID homologado por el Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, se procederá de la siguiente manera:

c-1) Si el proyectista prescribe el empleo de acero con este sello y adopta  $\gamma_s = 1,15$ , el control a realizar será el correspondiente a nivel normal, pero reduciendo en un 50 por 100 la intensidad de muestreo; si adopta  $\gamma_s = 1,10$ , el control a realizar será el de nivel normal, sin reducir la intensidad de muestreo. No se considera necesario aplicar a materiales con este sello el control a nivel intenso.

c-2) Si no figura en el proyecto el empleo de acero con este sello y en él se prevé control a nivel normal, la Dirección de obra podrá reducir en un 50 por 100 la intensidad de muestreo; si en el proyecto estaba previsto control a nivel intenso, la Dirección de obra podrá autorizar el control a nivel normal. En el caso de que se registre algún fallo en cualquiera de los ensayos, se procederá según lo indicado en b).

## CAPITULO X

### Control de la ejecución

#### Art. 72. Control de la ejecución.

##### 72.1 Generalidades.

El control de la ejecución, que esta Instrucción establece con carácter preceptivo, tiene por objeto garantizar el cumplimiento de las prescripciones generales del capítulo III más las específicas contenidas en el pliego de prescripciones técnicas particulares.

Corresponde a la Dirección de la obra la responsabilidad de la realización del control de la ejecución, el cual se adecuará necesariamente al nivel correspondiente, en función del valor adoptado para  $\gamma_f$  en el proyecto, y de los daños previsibles en caso de accidentes, según el artículo 31.

Se consideran en el citado artículo 31 los siguientes tres niveles para la realización del control de la ejecución:

- Control de ejecución a nivel reducido.
- Control de ejecución a nivel normal.
- Control de ejecución a nivel intenso.

##### Comentarios:

Un hormigón que a la salida de hormigonera cumpla todas las especificaciones de calidad puede ver disminuidas las mismas si su transporte, colocación y curado no son correctos. Lo mismo puede decirse respecto al corte, doblado y colocación de las armaduras. Además, aun realizadas las operaciones anteriores con todo cuidado, es preciso comprobar las luces y dimensiones de los elementos construidos, para poder garantizar que la calidad de la obra terminada es la exigida en el proyecto.

Basicamente, el control de la ejecución está confiado a la inspección visual de las personas que lo ejercen, por lo que su buen sentido, conocimientos técnicos y experiencia práctica son fundamentales para lograr el nivel de calidad previsto. No obstante lo anterior, es preciso sistematizar tales operaciones de control para conseguir una eficacia elevada en el mismo, pues no siempre los defectos que puedan presentarse se detectarán, como no se haya considerado previamente la posibilidad de su presencia.

En este sentido, la Instrucción establece tres niveles, en correspondencia con el coeficiente de mayoración de las solicitaciones, que se pondrán en práctica estableciendo una sistemática de control más o menos intensa o continuada. A título orientativo, se incluye la tabla 72.1, en que se detallan las principales operaciones que deben controlarse, en correspondencia con esta Instrucción y con el pliego de prescripciones técnicas particulares.

Además del control de recepción que se realiza en representación de la Administración o de la propiedad, es siempre recomendable la existencia de un control de producción (autocontrol) por parte del constructor.

TABLA 72.1

#### Operaciones objeto de control durante la ejecución

En las operaciones que proceda se efectuará el control dimensional

Fase de control de ejecución	Operaciones que se controlan
Previo al hormigonado.	Revisión de los planos de proyecto y de obra. Comprobación, en su caso, de hormigoneras, vibradores, maquinaria de transporte, máquinas de hormigonado continuo, aparatos de medida, moldes para las probetas, equipos de laboratorio, dispositivos de seguridad, medidas de seguridad, etc. Replanteo. Excavaciones para cimientos y muros. Andamiajes y cimbras. Encofrados y moldes. Doblado de armaduras. Colocación de armaduras (tipo, diámetro, posición, ejecución, etc.). Comprobación de recubrimientos. Empalmes de armaduras. Previsión de juntas de hormigonado y retracción. Previsión de juntas de dilatación. Previsión del hormigonado en tiempo frío. Previsión del hormigonado en tiempo caluroso. Previsión del hormigonado bajo lluvia.
Durante el hormigonado.	Fabricación, transporte y colocación del hormigón. Compactación del hormigón. Juntas de hormigonado y retracción. Juntas de dilatación. Hormigonado en tiempo frío. Hormigonado en tiempo caluroso. Hormigonado bajo lluvia. Acabado de superficies de hormigón visto, en su caso.
Posterior al hormigonado.	Curado. Descimbramiento, desencofrado y desmoldeo. Tolerancias en dimensiones, flechas y contraflechas, combas laterales, acabado de superficies, etc. Transporte y colocación de elementos prefabricados. Previsión de acciones mecánicas durante la ejecución. Reparación de defectos superficiales.

#### 72.4 Control de ejecución a nivel intenso.

Corresponde a un valor de  $\gamma_f = 1,5$ .

Se realiza mediante frecuentes, periódicas y detalladas visitas de inspección de la obra, disponiendo de un técnico competente permanentemente en la misma que realiza comprobaciones continuadas y sistemáticas de la totalidad de las prescripciones de 72.1.

#### Art. 73 Ensayos de información de la estructura.

##### 73.1 Generalidades.

Salvo indicación en contrario de la reglamentación específica de un tipo de estructura o del pliego de prescripciones técnicas particulares, no será necesario someter a ensayos de información de la estructura ni en particular a pruebas de carga las estructuras proyectadas y construidas con arreglo a la presente Instrucción en las que los materiales y la ejecución hayan alcanzado la calidad prevista, comprobada mediante los controles preceptivos.

Los ensayos de información se realizarán en estructuras en fase de ejecución o ya terminadas, en los siguientes casos:

a) Cuando debido al carácter particular de la estructura convenga comprobar que la misma reúne ciertas condiciones específicas. En este caso el pliego de prescripciones técnicas particulares establecerá los ensayos oportunos que deben realizarse, indicando con toda precisión la forma de realizarlos y el modo de interpretar los resultados.

b) Cuando a juicio del Director de Obra existen dudas razonables sobre la seguridad o durabilidad de la estructura.

##### Comentarios:

Los ensayos sobre probetas, cualquiera que sea la cualidad del hormigón que con ellos se pretende medir, son un procedimiento

cómodo pero no totalmente representativo del comportamiento final del hormigón de la estructura. Por otra parte, el comportamiento del hormigón frente a ciertos agentes es una función de diversas variables, lo suficientemente compleja para que no sea posible reproducir cuantitativamente el fenómeno en laboratorio. Por ello, resulta particularmente útil, en algunos casos, el recurrir a ensayos sobre la obra en fase de ejecución o ya terminada.

73.2 Pruebas de carga.

Cuando proceda la realización de pruebas de carga, éstas se efectuarán de acuerdo con lo especificado en UNE 7.457, norma aplicable a todo tipo de estructuras, excepto a aquellas que posean reglamentación específica.

Una vez efectuada la prueba, su resultado se considerará satisfactorio cuando se cumplan las condiciones siguientes:

- a) En el transcurso del ensayo no se producen fisuras que no corresponden a lo previsto en el proyecto, cuya amplitud pueda comprometer la seguridad o durabilidad de la estructura.
- b) Las flechas medidas no exceden de los valores establecidos en el proyecto como máximos compatibles con la correcta utilización de la estructura.
- c) La flecha residual después de retirar la carga, habida cuenta del tiempo en que esta última se ha mantenido, es lo suficientemente pequeña como para estimar que la estructura presenta un comportamiento esencialmente elástico. Esta condición deberá satisfacerse tras el primer ciclo de carga-descarga o, en su defecto, tras un segundo ciclo que se permite realizar a tal propósito.
- d) Si la flecha máxima medida es inferior a  $l^2/20.000 h$ , siendo  $l$  la luz del elemento ensayado (o el doble del vuelo, si se trata de un voladizo) y  $h$  su canto total, no se exigirá la recuperación de la flecha indicada en c).

Comentarios:

Las pruebas de carga son recomendables en estructuras o en parte de las mismas con síntomas de deterioro o que han estado sometidas a acciones que podrían haber afectado a su capacidad resistente (fuego, heladas, etc.) y también cuando por cambios de uso una determinada estructura o una parte de ella va a soportar acciones no previstas en el proyecto inicial (mayores cargas de uso, cargas puntuales, etc.).

El modo de aplicación de las cargas debe ser tal que se produzcan los máximos esfuerzos en las secciones consideradas como críticas. Debe tenerse en cuenta la posibilidad de que los elementos vecinos colaboren a la resistencia del elemento que se ensaya. Por otra parte, deben adoptarse toda clase de precauciones para evitar un posible accidente en el transcurso de la prueba.

Como norma general, tras un primer ciclo de carga-descarga total, la flecha residual estabilizada debe ser inferior al quinto de la flecha total medida bajo carga total. Si no es así, se procederá a un segundo ciclo de carga-descarga, al cabo del cual la flecha residual estabilizada debe ser inferior al octavo de la flecha total medida bajo carga en este segundo ciclo.

Pueden admitirse pequeñas variaciones en torno a los valores mencionados, según el tipo de elemento que se ensaye y según la importancia relativa de la sobrecarga respecto a la carga permanente.

Para una mejor interpretación de los resultados, se recomienda medir los movimientos más característicos que se hayan producido durante la realización de las pruebas y registrar al mismo tiempo la temperatura y humedad del ambiente, las condiciones de soleamiento y cuantos detalles puedan influir en los resultados de las medidas.

La dirección de todas las operaciones que constituyen el ensayo, la cuidadosa toma de datos y la interpretación de los resultados deben estar a cargo de personal especializado en esta clase de trabajos.

73.3 Otros ensayos no destructivos.

Este tipo de ensayos se empleará para estimar en la estructura otras características del hormigón diferentes de su resistencia, o de las armaduras que pueden afectar a su seguridad o durabilidad.

Comentarios:

Existen métodos de ensayo no destructivos (gammagrafías, sondas magnéticas, ultrasonidos, etc.) que permiten determinar en la estructura la situación real de las armaduras y el espesor de sus recubrimientos que han podido ser alterados por el vertido, picado o vibrado del hormigón; la mayor o menor permeabilidad del hormigón o la formación de coqueas internas por una mala compactación.

En general, es aconsejable que la realización e interpretación de estos ensayos se recomiende a un Centro especializado.

ANEJO I

Minúsculas romanas

- a = Distancia. Otro significado: Flecha.
- b = Anchura; anchura de una sección rectangular.
- b<sub>e</sub> = Anchura eficaz de la cabeza de una sección en T.

- b<sub>w</sub> = Anchura del alma o nervio de una sección en T.
- c = Recubrimiento.
- b<sub>h</sub> = Recubrimiento horizontal o lateral.
- c<sub>v</sub> = Recubrimiento vertical.
- d = Altura útil. Otro significado: Diámetro.
- d' = Distancia de la fibra más comprimida del hormigón al centro de gravedad de la armadura de compresión ( $d' = d_2$ ).
- e = Excentricidad. Espesor ficticio.
- f = Resistencia. Flecha.
- f<sub>c</sub> = Resistencia del hormigón a compresión.
- f<sub>cd</sub> = Resistencia de cálculo del hormigón a compresión.
- f<sub>ct</sub> = Resistencia del hormigón a compresión, a los j días de edad.
- f<sub>ck</sub> = Resistencia de proyecto del hormigón a compresión.
- f<sub>cm</sub> = Resistencia media del hormigón a compresión.
- f<sub>ct,real</sub> = Resistencia característica real del hormigón.
- f<sub>ct</sub> = Resistencia del hormigón a tracción.
- f<sub>ct,d</sub> = Resistencia de cálculo del hormigón a tracción.
- f<sub>ct,k</sub> = Resistencia característica del hormigón a tracción.
- f<sub>ct,v</sub> = Resistencia virtual de cálculo del hormigón a esfuerzo cortante.
- f<sub>esi</sub> = Resistencia característica estimada.
- f<sub>td</sub> = Resistencia característica a compresión del hormigón a j días de edad.
- f<sub>yk</sub> = Carga unitaria de rotura del acero.
- f<sub>td</sub> = Resistencia de cálculo en tracción del acero de los cerros o estribos.
- f<sub>y</sub> = Limite elástico de un acero.
- f<sub>yd</sub> = Resistencia de cálculo de un acero.
- f<sub>yk</sub> = Limite elástico característico de un acero.
- g = Carga permanente repartida. Otro significado: Aceleración debida a la gravedad.
- h = Canto total o diámetro de una sección. Otros significados: Espesor, horas.
- h<sub>f</sub> = Espesor de la placa de una sección en T.
- i = Radio de giro.
- j = Número de días.
- k = Cualquier coeficiente con dimensiones.
- l = Longitud. Luz.
- l<sub>o</sub> = Longitud de anclaje.
- l<sub>p</sub> = Longitud de pandeo.
- l<sub>o</sub> = Distancia entre puntos de momento nulo.
- m = Momento flector por unidad de longitud o de anchura.
- n = Número de objetos considerados. Otro significado: Coeficiente de equivalencia.
- q = Carga variable repartida.
- r = Radio.
- s = Espaciamiento. Desviación típica.
- s<sub>t</sub> = Separación entre planos de armaduras transversales.
- t = Tiempo. Edad técnica.
- u = Perímetro.
- w = Anchura de fisura.
- x = Coordenada. Profundidad del eje neutro.
- y = Coordenada. Profundidad del diagrama rectangular de tensiones.
- z = Coordenada. Brazo de palanca.

Minúsculas griegas

- Alfa α = Angulo-coeficiente adimensional.
- Beta β = Angulo-coeficiente adimensional.
- Gamma γ = Coeficiente de ponderación o seguridad. Peso específico.
- γ<sub>m</sub> = Coeficiente de minoración de la resistencia de los materiales.
- γ<sub>c</sub> = Coeficiente de seguridad o minoración de la resistencia del hormigón.
- γ<sub>s</sub> = Coeficiente de seguridad o minoración del limite elástico del acero.
- γ<sub>f</sub> = Coeficiente de seguridad o ponderación de las acciones o solicitaciones.
- γ<sub>fg</sub> o (γ<sub>g</sub>) = Coeficiente de ponderación de la carga permanente.
- γ<sub>fv</sub> o (γ<sub>v</sub>) = Coeficiente de ponderación de la carga variable.
- γ<sub>fw</sub> o (γ<sub>w</sub>) = Coeficiente de ponderación de la carga de viento.
- γ<sub>n</sub> = Coeficiente de seguridad o ponderación complementario de las acciones o solicitaciones.
- Delta Δ = Coeficiente de seguridad a la fisuración.
- Epsilon ε = Coeficiente de variación.
- ε = Deformación relativa.
- ε<sub>c</sub> = Deformación relativa del hormigón.
- ε<sub>cr</sub> = Deformación relativa de fluencia.
- ε<sub>cs</sub> = Deformación relativa de retracción.
- ε<sub>cu</sub> = Deformación de rotura por flexión del hormigón.
- ε<sub>max</sub> = Alargamiento bajo carga máxima.
- ε<sub>s</sub> = Deformación relativa del acero.

$\epsilon_{s1}$	Deformación relativa de la armadura más traccionada o menos comprimida ( $\epsilon_1$ ).
$\epsilon_{s2}$	Deformación relativa de la armadura más comprimida o menos traccionada ( $\epsilon_2$ ).
$\epsilon_u$	Alargamiento remanente concentrado de rotura.
$\epsilon_e$	Alargamiento correspondiente al límite elástico del acero.
Eta	$\eta$ Coeficiente de reducción relativo al esfuerzo cortante. Estricción.
Theta	$\theta$ Angulo.
Lamda	$\lambda$ Coeficiente adimensional.
Mu	$\mu$ Momento flector reducido o relativo.
Nu	$\nu$ Esfuerzo normal reducido o relativo.
Xi	$\xi$ Coeficiente sin dimensiones.
Rho	$\rho$ Cuantía geométrica = $A_s/A_c$ .
Sigma	$\sigma$ Tensión normal.
	$\sigma_c$ Tensión en el hormigón.
	$\sigma_s$ Tensión en el acero.
	$\sigma_{s1}$ Tensión de la armadura más traccionada o menos comprimida ( $\sigma_1$ ).
	$\sigma_{s2}$ Tensión de la armadura más comprimida o menos traccionada ( $\sigma_2$ ).
	$\sigma_1$ Tensión principal de tracción.
	$\sigma_{11}$ Tensión principal de compresión.
Tau	$\tau$ Tensión tangente.
	$\tau_b$ Tensión de adherencia.
	$\tau_{bm}$ Tensión media de adherencia.
	$\tau_{bu}$ Tensión de rotura de adherencia.
	$\tau_{td}$ Valor de cálculo de la tensión tangente de torsión.
	$\tau_{tu}$ Valor último de la tensión tangente de torsión.
	$\tau_w$ Tensión tangente del alma.
	$\tau_{wd}$ Valor de cálculo de $\tau_w$ .
	$\tau_{wu}$ Valor último de la tensión tangente del alma.
Phi	$\phi$ Coeficiente adimensional.
	$\phi_t$ Coeficiente de evolución de la fluencia en un tiempo t.
Psi	$\psi$ Coeficiente adimensional.
Omega	$\omega$ Cuantía mecánica: $\omega = (A_s \cdot f_{yd}) / (A_c \cdot f_{cd})$ .

*Símbolos matemáticos y especiales*

- $\Sigma$  = Suma.
- $\Delta$  = Diferencia-Incremento.
- $\emptyset$  = Diámetro de una barra lisa.
- $\emptyset$  = Diámetro de una barra corrugada.
- $\geq$  = No mayor que.
- $\leq$  = No menor que.

2.2 Notación y convenio de signos.

El significado de los símbolos de la notación utilizada en los apartados 3, 4 y 5 siguientes puede consultarse en el anejo I de esta Instrucción. En particular, conviene recordar aquí el concepto de «capacidad mecánica» de una armadura, que se define como el producto de su sección por la resistencia de cálculo del acero, en tracción o en compresión según corresponda al trabajo de la armadura. Las capacidades mecánicas se designan por  $U_s$ , reservándose  $U_c$  para representar un concepto análogo, pero aplicado al hormigón:

- $U_{s1} = A_s \cdot f_{yd}$  = capacidad mecánica de la armadura de tracción o menos comprimida. Por brevedad, se designa a veces también por  $U_{s1}$  a la propia armadura (1).
- $U_{s2} = A'_s \cdot f_{yc,d}$  = capacidad mecánica de la armadura de compresión o más comprimida. Por brevedad se designa a veces también  $U_{s2}$  a la propia armadura.
- $U_c = f_{cd} \cdot b \cdot d$  = capacidad mecánica de la sección útil del hormigón, en sección rectangular.
- $U_{ct} = f_{cd} \cdot b \cdot h$  = capacidad mecánica de la sección total de hormigón, en sección rectangular.

La fuerza  $N_d$  exterior actuante se considera como positiva si es de compresión, y como negativa si es de tracción.

Dada una sección sometida a una fuerza  $N_d$ , se designará por  $U_{s1}$  la armadura más alejada del borde comprimido (o del más comprimido si los dos lo están), y por  $U_{s2}$  a la otra. Con esto quedan definidas las magnitudes  $d$  (canto útil) y  $e$  (excentricidad de la fuerza  $N_d$  con respecto al c. de g. de la armadura  $U_{s1}$ ). En cuanto al signo de  $e$ , será positivo si la fuerza  $N_d$  y el borde más comprimido caen al mismo lado de  $U_{s1}$ , y será negativo si caen a lado distinto.

(1) Para aquellos estados de sollicitación en los que la armadura  $U_s$  trabaja en compresión, la capacidad mecánica aplicable no es  $A_s \cdot f_{yd}$  sino  $A_s \cdot f_{yc,d}$ . Esta última expresión es la que se utiliza (en lugar de  $U_{s1}$ ) en las fórmulas de los capítulos siguientes para tales casos. Naturalmente, para aquellos aceros en los que  $f_{yd} \leq 4.900 \text{ kp/cm}^2$  (valor límite máximo admitido en esta Instrucción para  $f_{yc,d}$ ) los valores de  $f_{yd}$  y  $f_{yc,d}$  son idénticos.

Con estas convenciones (figura A.7.5) el producto  $N_d \cdot e$  es siempre será positivo (2).

Puede ocurrir que, por ser la fuerza  $N_d > 0$  y actuar relativamente centrada en la sección, no se sepa de antemano cuál sea el borde más comprimido. En tal caso, se adoptará como tal cualquiera de ellos, a reserva de comprobar en el momento oportuno que la elección ha sido acertada. Esta comprobación de borde, que se estudia más adelante, no siempre resulta necesaria, por lo que, en el cuerpo de fórmulas del apartado 3.º, se avisa en cada uno de los casos en que es imprescindible hacerla.

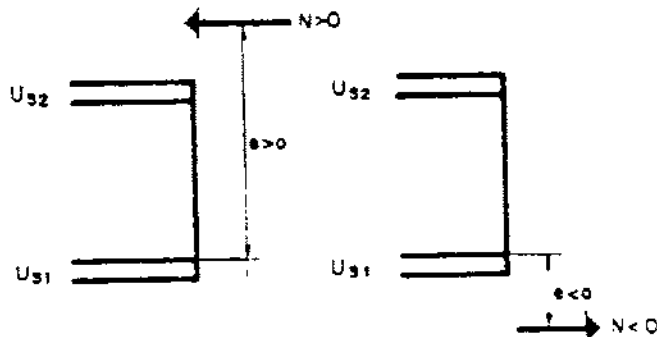


Figura A.7.5

3.3 Compresión simple.

El método del momento tope resuelve también la compresión compuesta, así como en el límite, la compresión simple.

Cuando la compresión es centrada, es decir, cuando la sollicitación exterior  $N_d$  actúa en el baricentro plástico de la sección (vease su definición en el anejo 2), resulta más ventajoso efectuar la comprobación mediante la relación:

$$N_d \leq N_u = 0,7 \cdot b \cdot h f_{cd} + A'_s \cdot f_{yc,d} + A_s \cdot f_{yd}$$

La excentricidad  $e_b$  correspondiente al baricentro plástico de la sección es:

$$e_b = \frac{0,35 \cdot U_c \cdot d (1 - \rho^2) + U_{s2} \cdot (d - d')}{0,7 \cdot U_{ct} + A_s \cdot f_{yc,d} + U_{s2}} \approx \frac{0,35 \cdot U_c \cdot d + U_{s2} (d - d')}{0,7 \cdot U_{ct} + A_s \cdot f_{yc,d} + U_{s2}} \quad (20)$$

Siendo:  $\rho = \frac{b \cdot d}{d}$

ANEJO 4

*Normas para la utilización del cemento aluminoso*

I. Materiales.

1.1 El cemento aluminoso deberá cumplir las prescripciones exigidas en la Reglamentación vigente.

ANEJO 8

*Relación de Normas UNE*

7.050/53	Cedazos y tamices de ensayo.
7.082/54	Determinación aproximada de la materia orgánica en arenas para hormigones o morteros.
7.130/58	Determinación del contenido total de sustancias solubles en aguas para amasado de hormigones.
7.131/58	Determinación del contenido total de sulfatos en aguas de amasado para morteros y hormigones.
7.132/58	Determinación cualitativa de hidratos de carbono en aguas de amasado para morteros y hormigones.
7.133/58	Determinación de terrones de arcilla en áridos para la fabricación de morteros y hormigones.

(2) Se exceptúa el caso de fuerza de tracción ( $N_d < 0$ ) actuando entre las dos armaduras. En este caso de tracción simple e compuesta vease en el apartado 3B.4 de la Instrucción.

7.134/58	Determinación de partículas blandas en áridos gruesos para hormigones.	83.254/87	Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Toma de muestras de aditivos.
7.136/58	Estabilidad de áridos frente a disoluciones de sulfato sódico o sulfato magnésico.	83.255/87	Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Materiales de referencia para ensayos. Definiciones.
7.137/58	Ensayo químico para determinar la reactividad de los áridos, utilizados en la fabricación de hormigones, con los álcalis del cemento.	83.256/87	Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Materiales de referencia. Agua de amasado y curado.
7.178/60	Determinación de los cloruros contenidos en el agua utilizada para la fabricación de morteros y hormigones.	83.257/87	Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Materiales de referencia áridos.
7.234/71	Determinación de la acidez de aguas destinadas al amasado de morteros y hormigones, expresados por su PH.	83.258/87	Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Consistencia de morteros.
7.235/71	Determinación de los aceites y grasas contenidos en el agua de amasado de morteros y hormigones.	83.259/87	Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Determinación del aire ocluido en morteros.
7.236/71	Toma de muestras para análisis químico de las aguas destinadas al amasado de morteros y hormigones.	83.275/87	Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Etiquetado.
7.238/71	Determinación de los coeficientes de forma de árido grueso empleado en la fabricación de hormigones.	83.300/84	Ensayos de hormigón. Toma de muestras de hormigón fresco.
7.243	Determinación de la estabilidad de volumen de las escorias siderúrgicas utilizadas como áridos para hormigones.	83.301/84	Ensayos de hormigón. Fabricación y conservación de probetas.
7.244/71	Determinación de partículas de bajo peso específico que puede contener el árido utilizado en hormigones.	83.302/84	Ensayos de hormigón. Extracción y conservación de probetas testigo.
7.245/71	Determinación de los compuestos de azufre contenidos en los áridos.	83.303/84	Ensayos de hormigón. Refrentado de probetas con mortero de azufre.
7.295/76/1R	Determinación del contenido, tamaño máximo característico y módulo granulométrico del árido grueso en el hormigón fresco.	83.304/84	Ensayos de hormigón. Rotura por compresión.
7.457	Realización de ensayos estáticos de puesta en carga sobre estructura de piso a edificios.	83.305/86	Ensayo de rotura por compresión o tracción de probetas de hormigón. Rotura a flexotracción.
14.010/71/1R	Examen y calificación de los operarios destinados a trabajos de soldado eléctrico por arco, en las estructuras de acero.	83.306/85	Ensayos de hormigón. Rotura por tracción indirecta (ensayo Brasileño).
23.093/81/1R	Ensayo de la resistencia al fuego de las estructuras y elementos de la construcción.	83/307	Determinación del índice de rebote del hormigón.
36.088/81/1/1R	Barras corrugadas para hormigón armado. Barras sin exigencias especiales de soldabilidad.	83.308/86	Ensayos de hormigones. Determinación de la velocidad de propagación de los impulsos ultrasónicos.
36.092/82/1	Mallas electrosoldadas de acero para hormigón armado. Parte I. Características.	83.313/87	Ensayos de hormigones. Medida de la consistencia del hormigón fresco. Método del Cono de Abrams.
36.097/81/1/1R	Redondo liso para hormigón armado. Características.	83.415/87	Adiciones al hormigón. Cenizas volantes: Definición, especificaciones, transporte y almacenamiento de las cenizas volantes utilizadas como adición a los hormigones y morteros de cemento Portland.
36.099/81/1	Alambres corrugados de acero para hormigón armado. Características.	83.421/87	Adiciones al hormigón. Cenizas volantes: Toma de muestras.
36.401/81	Ensayos de tracción a temperatura ambiente de productos de acero.	83.422/86	Adiciones al hormigón. Cenizas volantes: Control de calidad.
36.462/80	Método de ensayo de despegue de las barras de nudo en mallas electrosoldadas.	83.431/86	Adiciones al hormigón. Cenizas volantes: Determinación de la humedad.
83.115	Áridos para hormigones. Medida del coeficiente de friabilidad de las arenas.	83.432/86	Adiciones al hormigón. Cenizas volantes: Determinación de sulfatos expresados en SO <sub>3</sub> por método gravimétrico.
83.116	Áridos para hormigones. Determinación del coeficiente de los Angeles.	83.433/86	Adiciones al hormigón. Cenizas volantes: Determinación de la pérdida por calcinación.
83.120	Áridos para hormigones. Determinación cuantitativa de los compuestos de azufre.	83.450/86	Adiciones al hormigón. Cenizas volantes: Determinación de la finura.
83.131/87	Áridos para hormigones. Determinación del equivalente de arena.	83.451/86	Adiciones al hormigón. Cenizas volantes: Determinación del índice de actividad resistente con cemento Portland.
83.133	Áridos para hormigones. Determinación del peso específico y absorción de agua en arenas. Método del picnómetro.	83.453/87	Adiciones al hormigón. Cenizas volantes: Determinación de la estabilidad de volumen por el método de Le Chatelier.
83.134	Áridos para hormigones. Determinación del peso específico y absorción de agua en gravas. Método de la balanza hidrostática.		
83.200/84	Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Clasificación y definiciones.		
83.205/85	Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Determinación del residuo seco a 105 ± 3° C de los aditivos líquidos.		
83.206/85	Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Determinación de la pérdida de masa, a 105 ± 3° C de los aditivos sólidos.		
83.207/85	Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Determinación de la pérdida por calcinación, a 1.050 ± 25° C.		
83.208/85	Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Determinación del residuo insoluble en agua destilada.		
83.209/86	Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Determinación del contenido de agua no combinado.		
83.225/86	Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Determinación del peso específico de los aditivos líquidos.		
83.226/86	Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Determinación de la densidad aparente de los aditivos sólidos.		
83.227/86	Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Determinación del PH.		
83.240/86	Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Observación del espectro infrarrojo.		

## ANEJO 2

### Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón armado o pretensado (EF-88)

#### ARTICULADO

##### 1. Generalidades.

##### 1.1 Campo de aplicación.

Los métodos de cálculo y las prescripciones de esta instrucción son aplicables a los forjados unidireccionales, para todo tipo de edificación, constituidos por elementos superficiales planos con nervios flectando esencialmente en una dirección, que cumplan las condiciones siguientes:

- El canto total no excede de 50 centímetros.
- La separación entre ejes de nervios no supera 1,25 metros.
- La luz de cada tramo no excede de 10 metros.
- El canto es al menos el indicado en el párrafo 6.3.5.3.

Pueden realizarse forjados que rebasen estas limitaciones, justificando el autor del proyecto los métodos de cálculo y las soluciones adoptadas, teniendo en cuenta, en todo caso, las prescripciones generales de las instrucciones EH y EP.

##### Comentarios:

En las instrucciones EH y EP se contemplan otros elementos estructurales con parecida función, como losas o forjados reticulados.

Las instrucciones EH y EP a que se refiere el articulado son en la actualidad EH-88 y EP-80.

1.2 Elementos constitutivos de un forjado.

En general, un forjado está constituido por:

- a) Viguetas prefabricadas de hormigón u hormigón y cerámica, armadas o pretensadas mediante tendones anclados por adherencia.

- b) Piezas de entrevigado, con función de aligeramiento y, en ciertos casos, además con función resistente.

- c) Armadura colocada en obra, longitudinal, transversal y de reparto.

- d) Hormigón in situ.

En la figura 1.2.a, se representan algunos tipos usuales de forjado.

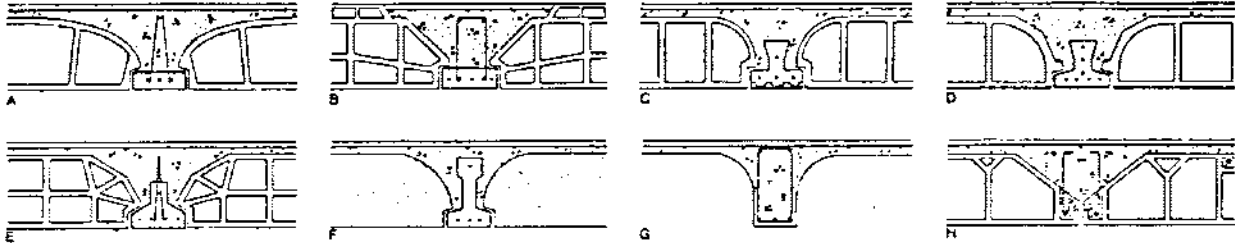


Fig. 1.2.a TIPOS USUALES DE FORJADO

Comentarios:

Por vigueta debe entenderse un elemento lineal, con función resistente asociada con hormigón y armaduras colocadas en obra. Dicha denominación, no presupone la forma, pudiendo ser las viguetas en forma de simple o doble T, o en forma de losas aligeradas o en  $\Sigma$ .

Las viguetas armadas pueden prefabricarse a pie de obra, mientras que las pretensadas deben serlo en instalación industrial fija.

En ocasiones puede disponerse más de una vigueta por nervio.

Puede realizarse forjados que no necesiten piezas de entrevigado para conseguir una cara inferior plana. En la figura 1.2.b se representan otros tipos de forjado.

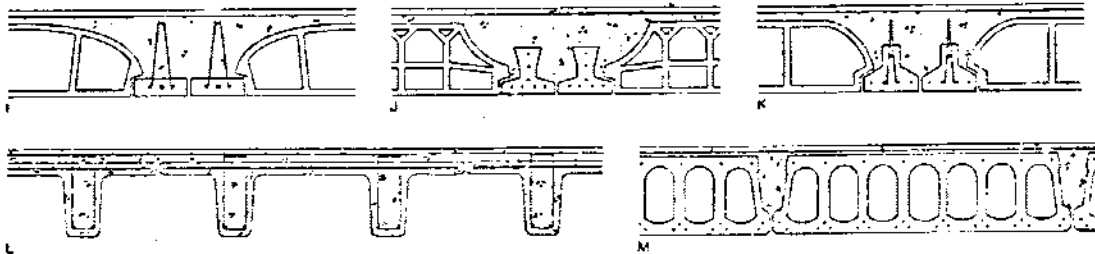


Fig. 1.2.b OTROS TIPOS DE FORJADO

2. Condiciones de las viguetas.

2.1 Armaduras.

Las armaduras cumplirán las condiciones especificadas en el artículo 9.º de la instrucción EH y, en su caso, el artículo 13 de la instrucción EP vigentes.

Se admite el uso de alambres lisos trefilados como armadura pasiva, si su anclaje se consigue por soldadura por resistencia a otras armaduras pasivas en instalación industrial fija.

Dicha armadura podrá disponerse en toda o en parte de la longitud de la pieza e incluso, disponerse saliente para su conexión al hormigón in situ, admitiéndose como armadura pasiva longitudinal superior soldada a la misma un perfil laminado o conformado.

Para la separación entre armaduras tanto activas como pasivas y sus distancias a los paramentos, rigen las prescripciones de las instrucciones EH y EP en vigor, salvo lo indicado en el artículo 13.2, apartado a) de la instrucción EH, el valor límite de 2 centímetros que en él se indica, se admite reducirlo a 1,5 centímetros en el caso de elementos prefabricados en instalación industrial fija.

A los efectos de un correcto hormigonado debe entenderse por paramento toda superficie límite de hormigonado, y a los efectos de protección de armaduras sólo los paramentos que lo sean de modo definitivo.

Comentarios:

Cuando las viguetas se fabrican en instalación industrial fija existen mayores posibilidades de control.

El control de recubrimiento es particularmente importante cuando el hormigón no queda visible; por ejemplo, en piezas con encofrado cerámico perdido. (Figura 1.2.a, caso H).

Las características de los perfiles laminados se recogen en la Norma MV-102-1975 «Acero laminado para estructuras de edificación» y las de los conformados en la MV-109-1979 «Perfiles conformados de acero para estructuras de edificación».

2.2 Piezas cerámicas.

Las piezas cerámicas utilizadas en viguetas, tendrán una resistencia característica a compresión no inferior a 250 kp/cm<sup>2</sup>, determinada de

forma idéntica a como se especifica en el párrafo 8.1.2 para piezas de aligeramiento.

2.3 Comprobación de viguetas pretensadas.

La cuantía geométrica de la armadura, no será inferior al 1,5 por 100 respecto al área de la sección total de la vigueta, ni al 5 por 100 del área cobaricéntrica con la armadura situada en la zona inferior de la vigueta. Esta última armadura estará constituida, al menos, por dos alambres en colocación simétrica respecto al plano medio.

Después de la transferencia, las viguetas no presentarán tracciones superiores a la resistencia a tracción pura del hormigón utilizado, ni compresiones superiores al 67 por 100 de la resistencia a compresión, ambas en valores característicos a la edad en que se produce la transferencia. (Figura 2.3.a.)

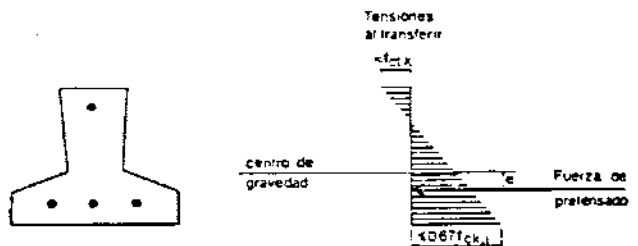


Fig. 2.3.a TENSIONES DESPUES DE LA TRANSFERENCIA

Para la comprobación de estas tensiones y para todas las sucesivas, se adoptará en la fuerza de pretensado el valor  $\gamma_p = 1,0$ . Como valor de la fuerza de pretensado después de la transferencia, se tomará el de la fuerza de tesado, menos la suma de las pérdidas originadas por:

- a) Penetración de cuñas.
- b) Relajación a temperatura ambiente hasta la transferencia.
- c) Relajación adicional de la armadura debida en su caso al proceso de calefacción.

- d) Dilatación térmica de la armadura debida al proceso de calefacción.
- e) Retracción anterior a la transferencia.
- f) Acortamiento elástico instantáneo al transferir.

Salvo justificación detallada, para acero R5, no podrá considerarse para el conjunto de todas estas pérdidas, un valor, expresado en tanto por ciento, superior a:  $12+p$ , siendo  $p$  la cuantía geométrica, en tanto por mil, respecto al área de la sección total de la vigueta.

**Comentarios:**

La cuantía mínima del 5 por 1.000 se establece para evitar según el artículo 51.5.1 de la instrucción EP en vigor, la aparición de fisuras en la zona que va a estar traccionada en fase de servicio.

Al transferir se pueden aceptar tracciones siempre que no produzcan fisuras, ya que las pérdidas subsiguientes en la fuerza de pretensado reducen el valor de dichas tracciones.

No obstante en el párrafo 5.2, se limita el valor máximo que pueden alcanzar tales tracciones, aumentadas en su caso, por el efecto del proceso de apuntalado.

Parece razonable la ubicación de, al menos dos alambres, en la cabeza inferior de las viguetas. Pero además, en algunos casos, la incorrecta, o desigual repartición de los alambres puede exigir la comprobación de la pieza mediante un análisis de tensiones tangenciales.

El fabricante, a la vista de la experiencia inicial de fabricación, decidirá sobre la eventual necesidad de armadura transversal en los extremos de las viguetas, con el fin de garantizar la no aparición de fisuras horizontales en la zona correspondiente a la longitud de transmisión.

Se puede adoptar el valor fijo de  $\gamma_p = 1,0$  en lugar de los  $\gamma_p = 0,9$  y  $\gamma_p = 1,1$  considerados en general por la instrucción EP vigente, debido a que la técnica de prefabricación en bancada con alambres, siempre restos, hace que la fuerza de pretensado sea conocida con mayor precisión que en otros casos.

La pérdida c) se podrá calcular de acuerdo con la información facilitada por el fabricante de la armadura. En ausencia de dicha información, se podrá adoptar como suma de b) y c), el valor de relajación a  $10^6$  horas a  $20^\circ C$ .

La pérdida d) puede evaluarse con la expresión:

$$\Delta P_k = K \alpha E_p (T_c - T_a)$$

siendo:

$K$  = Coeficiente experimental, a determinar en fábrica, y que, en ausencia de ensayos puede tomarse  $K = 0,5$ .

$\alpha$  = Coeficiente de dilatación térmica de la armadura.

$E_p$  = Módulo de elasticidad de la armadura de pretensar.

$T_c, T_a$  = Temperaturas máximas de curado y de ambiente durante la fabricación, respectivamente.

Las pérdidas posteriores a la transferencia debidas a la retracción, fluencia y relajación se consideran en las fases sucesivas de cálculo.

**3. Condiciones de las piezas de entrevigado.**

Las piezas de entrevigado pueden ser simplemente aligerantes o cumplir además, un papel resistente y pueden ser de cerámica, mortero de cemento u otro material suficientemente rígido, que no produzca daños al hormigón ni a las armaduras.

Toda pieza de entrevigado, tanto aligerante como resistente, será capaz de soportar una carga en vano de al menos 100 kp, determinada según se detalle en el párrafo 8.1.2.

Toda pieza que vaya a colaborar a la resistencia de la sección en los términos descritos en el párrafo 6.3, deberá poseer resistencia característica a compresión no inferior a la del hormigón in situ ni a  $175 \text{ kp/cm}^2$  determinada por el procedimiento detallado en el párrafo 8.1.2.

**Comentarios:**

La exigencia de resistencia en vano va dirigida a prevenir su rotura en obra al transitar sobre ella.

Para ser compatibles con las viguetas, las piezas deben, además, verificar las condiciones del párrafo 4.1.

**4. Condiciones generales del forjado.**

**4.1 Condiciones geométricas.**

La sección transversal del forjado cumplirá con los siguientes requisitos (figura 4).

- a) El espesor mínimo de la losa superior de hormigón será:

Tres centímetros sobre viguetas.  
Cuatro centímetros sobre piezas de entrevigado.  
Cinco centímetros en los demás casos.

- b) El perfil de la pieza de entrevigado será tal que, a cualquier distancia  $c$  de su eje vertical de simetría, el espesor  $h$  de hormigón será superior a  $c/8$ , en el caso de piezas de entrevigado resistente, y a  $c/6$  en el caso de piezas de entrevigado aligerantes o cuando éstas no existan.

- c) En el caso de viguetas sin armaduras transversales de conexión con el hormigón in situ, el perfil de la pieza de entrevigado dejará a ambos lados de la cara superior de la vigueta un paso, al menos, de 3 centímetros.

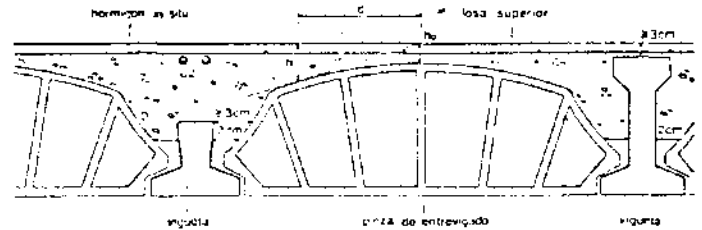


Fig. 4.1a. CONDICIONES GEOMÉTRICAS DEL FORJADO

**Comentarios:**

Las condiciones del articulado buscan por un lado, asegurar la necesaria continuidad transversal mediante un espesor adecuado de la losa superior y, por otro, garantizar que el perímetro de la vigueta queda razonablemente embebido en el hormigón in situ.

La continuidad transversal puede conseguirse sustituyendo parcialmente la losa superior por material cerámico de la pieza de entrevigado de diseño y resistencia adecuadas.

A efectos de la condición b), en forjados constituidos con semilosas en (figura 1.2.b caso L) el espesor  $h$ , será no inferior a 5 centímetros computando la suma del espesor del hormigón in situ y el del ala de la vigueta.

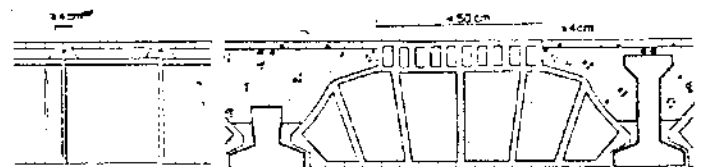


Fig. 4.1b. PIEZAS DE ENTREVIGADO ESPECIALES

Si el material cerámico posee una resistencia característica superior a  $300 \text{ kp/cm}^2$  puede sustituir parcialmente a la losa superior según se indica en la figura 4.1.b, extremando el control en cuanto a posición de armaduras y sus recubrimientos.

**4.2 Armadura de reparto.**

En la losa superior, se dispondrá una armadura de reparto con alambres de acero de al menos 4 milímetros de diámetro en las dos direcciones, a intervalos no superiores a 30 centímetros en la dirección perpendicular a los nervios ni a 50 centímetros en la dirección 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:

$$A_1 \geq \frac{500h_0}{f_{yd}}$$

- b) En la dirección paralela a los nervios:

$$A_2 \geq \frac{250h_0}{f_{yd}}$$

siendo:

$h_0$  = espesor mínimo de la losa superior sobre piezas de entrevigado.  
 $f_{yd}$  = resistencia de cálculo del acero en  $\text{kp/cm}^2$ .

**Comentarios:**

La armadura de reparto cumple un papel esencial para la distribución transversal de cargas locales, evitando la fisuración del revestimiento de la cara inferior del forjado. Asimismo, sirve para repartir las fisuras producidas por la retracción y las variaciones de temperatura; dar resistencia, en el plano de forjado, frente a las acciones horizontales que actúan sobre el conjunto de la estructura; asegurar el enlance entre el forjado y el resto de la estructura frente a acciones imprevistas, etc. Por ello se prescribe que la armadura de reparto esté constituida por barras

en las dos direcciones aunque predominando en la dirección perpendicular a los nervios.

El papel de la armadura de reparto puede en ocasiones confiarse al propio hormigón adicionando fibras adecuadas.

Si existen cargas puntuales importantes o se dispone  $h_0$  mayor de 6 centímetros, puede ser necesario un estudio especial del armado en la losa superior.

4.3 Armadura mínima longitudinal.

En forjados de hormigón armado con nervios, tanto prefabricados como enteramente contruidos in situ, la armadura de tracción tendrá una sección  $A_0$  que verifique:

$$A_0 \geq 0,08 \frac{b_0 h f_{cd}}{f_{yd}} \leq 0,006 b_0 h$$

siendo:

- $b_0$  = ancho mínimo del nervio (figuras 5.2.a y 5.2.b).
- $h$  = canto total del forjado.
- $f_{cd}$  = resistencia de cálculo del hormigón in situ.
- $f_{yd}$  = resistencia de cálculo de la armadura.

Esta armadura mínima formada por al menos dos barras, deberá disponerse en toda la zona inferior fraccionada de la vigueta y, al menos, en la zona de la cabeza superior sometida a momentos negativos. Además, en el caso de tramo extremo o aislado, deberá llegar hasta el extremo de la pieza, al menos la tercera parte de la armadura máxima de momentos positivos, y en el caso de tramo interior, al menos la cuarta parte. El resto de la armadura inferior, en el caso de nervios prefabricados, se dispondrá simétricamente respecto al centro de la luz de la vigueta.

En forjados con viguetas de hormigón pretensado la armadura pasiva mínima en la zona de momentos negativos, cumplirá las mismas condiciones impuestas para los forjados de viguetas armadas (figuras 5.2.a y 5.2.b).

Comentarios:

La cuantía mínima propuesta en el articulado cubre los efectos considerados en el artículo 38.3 de la instrucción EH en vigor para forjados de nervios asimilables a sección T. (Figura 1.2.a.)

5. Comprobaciones previas al hormigonado «in situ».

5.1 Generalidades:

Durante el hormigonado «in situ», las viguetas deben soportar, por sí solas, el peso propio total del forjado y la sobrecarga de ejecución que, salvo justificación especial, no se considerará inferior a 100 kp/m<sup>2</sup>.

Las luces de cálculo se medirán entre extremos de viguetas o apoyos, y ejes de sopandas si éstas existen.

El análisis de solicitaciones, existan o no sopandas, se hará de acuerdo con el cálculo lineal en la hipótesis de inercia constante o, previa justificación, adoptando la redistribución indicada en párrafo 6.2.

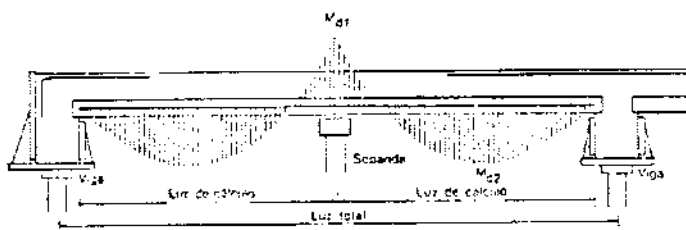


Fig. 5.1.a SOLICITACIONES INICIALES DEL FORJADO

Comentarios:

Se recuerda que en la fase de ejecución, según el artículo 32 de la instrucción EH vigente, los coeficientes de seguridad pueden ser menores que los usados para la obra terminada, sin que  $\gamma_f$  pueda bajar de 1,25.

5.2 Comprobación de secciones:

En las viguetas de hormigón armado con armadura exterior, como las de la figura 5.2.a, se verificará:

Sobre sopandas:  $M_{d1} \leq A_s a_1 f_{yd}$       En vano:  $M_{d2} \leq A_s a_1 f_{yd}$

Siendo:

$M_{d1}$ ,  $M_{d2}$  = Momentos de cálculo sobre sopandas y vano, respectivamente, en valor absoluto, correspondiente a estados límites últimos (figura 5.1.a).

- $A_s$  = Área de la sección de la armadura superior de la vigueta.
- $a_1$  = Distancia entre centros de gravedad de la armadura superior y la cabeza inferior de la vigueta (figura 5.2.a).
- $f_{yd}$ ,  $f_{yk}$  = Resistencia de cálculo de dicha armadura, a tracción y compresión, respectivamente.

En las viguetas pretensadas se verificará (figura 5.2.b):

En fibra inferior:

Sobre sopandas:  $\sigma_{c1} + \frac{M_1}{W_{1h}} \leq 0,67 f_{ck}$       En vano:  $\sigma_2 - \frac{M_2}{W_{1h}} \geq 0$

En fibra superior:

Sobre sopandas:  $\sigma_{c2} - \frac{M_1}{W_{2h}} \geq -40 \text{ kp/cm}^2$       En vano:  $\sigma_{c2} + \frac{M_2}{W_{2h}} \leq 0,67 f_{ck}$

Siendo:

- $M_1$ ,  $M_2$  = Valores absolutos de los momentos sobre sopandas y vano, respectivamente (valores de servicio).
- $W_{1h}$ ,  $W_{2h}$  = Módulos resistentes de la sección homogeneizada de la vigueta, correspondientes a la fibra inferior y superior, respectivamente.
- $\sigma_{c1}$ ,  $\sigma_{c2}$  = tensiones de compresión producidas en las fibras inferior y superior de la vigueta, respectivamente, por las fuerzas de pretensado, teniendo en cuenta todas las pérdidas señaladas en párrafo 2.3 y las de retracción, fluencia y relajación, correspondientes al periodo entre el destesado o transferencia y la fecha de ejecución del forjado.
- $f_{ck}$  = resistencia característica a compresión del hormigón de la vigueta.

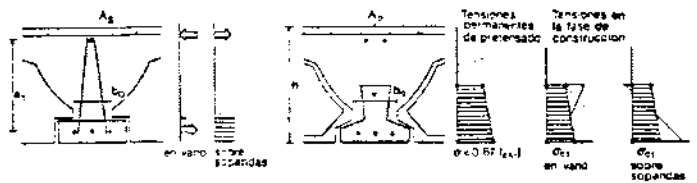


Fig. 5.2.a y 5.2.b COMPROBACIÓN PREVIA AL HORMIGONADO

Comentarios:

Resulta conveniente que toda vigueta sea capaz de soportar el peso propio del forjado durante la construcción, trabajando como simplemente apoyada entre sopandas, lo que proporciona una seguridad adicional para evitar la caída del forjado; esta condición, generalmente, se satisface en los casos habituales.

En general, las comprobaciones a esfuerzo cortante se cumplen; sin embargo, en algunos tipos de viguetas, la flecha entre sopandas puede resultar excesiva, por ello en párrafo 8.2.2, se suministran valores que deben verificarse por inspección directa en la obra.

Aunque, con carácter general, en un estado de cargas permanentes, no deberían aceptarse tracciones en el hormigón pretensado se admiten en el borde superior en la zona sobre sopandas ya que este borde, posteriormente, habrá de quedar recubierto por el hormigón «in situ» y solidarizado. Por otro lado, la experiencia práctica demuestra que una tensión de tracción de 40 kp/cm<sup>2</sup> es suficientemente segura.

Aunque la evaluación de las pérdidas a que se refiere el articulado para el cálculo de  $\sigma_{c1}$  y  $\sigma_{c2}$  obliga en rigor a considerar la edad de la vigueta en el momento del hormigonado «in situ», se obtiene una buena aproximación si se adoptan los valores correspondientes a plazo infinito, con las limitaciones indicadas en párrafo 6.3.2 para dichos valores. Más preciso sería considerar un plazo de noventa días entre el destesado y la ejecución del forjado.

6. Cálculo del forjado.

6.1 Hipótesis de carga.

Las acciones se establecerán en el proyecto. En los forjados de piso habrá que tener en cuenta las cargas superficiales de: Peso propio del forjado, solado y revestimientos, tabiquería y sobrecargas de uso y, además, si existen, cargas lineales de muros, particiones pesadas y otros elementos y, en su caso, cargas puntuales o localizadas.

En los forjados de cubierta habrá que considerar las cargas superficiales de: Peso propio (incluyendo material de cobertura, aislamiento, etcétera), la sobrecarga de nieve, o uso si es más desfavorable, y, eventualmente, viento. Además se considerarán cargas lineales, puntuales o localizadas si existen.



Cuando tengan influencia apreciable se considerarán las cargas derivadas del proceso de ejecución del edificio.

En los casos en que los elementos prefabricados posean Sello de Calidad Homologado por el MOPU, podrá rebajarse en un 0,05 adicional el valor del coeficiente  $\gamma_c$  de ponderación de las cargas que resulte de aplicar el artículo 31 de la Instrucción EH o el artículo 41 de la Instrucción EP vigentes.

**Comentarios:**

El peso propio del forjado depende de su canto, el cual no puede disminuirse por debajo de un valor que, generalmente, viene impuesto por el estado límite de deformación (párrafo 6.3.5).

Se recuerda que la norma NBE-CA-82 «Condiciones Acústicas en los Edificios», establece los pesos mínimos de los forjados de acuerdo con los requisitos de confort acústico.

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 proceso de apuntalado de plantas sucesivos durante la ejecución puede en ocasiones producir la hipótesis de carga más desfavorable.

**6.2 Análisis de solicitaciones.**

La luz de cálculo se medirá entre ejes de elementos de apoyo, salvo que éstos sean muros, en cuyo caso podrá tomarse la luz libre más el canto del forjado, si resulta menor.

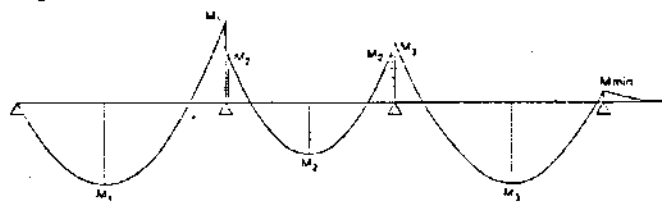
El análisis de solicitaciones, en estados límites últimos, puede hacerse de acuerdo con los métodos del cálculo lineal en la hipótesis de viga continua, apoyada en las vigas o muros sobre las que descansa y suponiendo inercia constante; puede también considerarse la redistribución indicada en la Instrucción EH en vigor, artículo 52, o alternatively, la basada en las siguientes consideraciones: (figuras 6.2.a y 6.2.b)

a) Como momentos positivos se adoptarán, al menos, los que resulten de suponer en cada tramo, e independientemente de los contiguos, iguales momentos en vano y los dos apoyos para tramos laterales interiores, y en vano y apoyo para vano extremo.

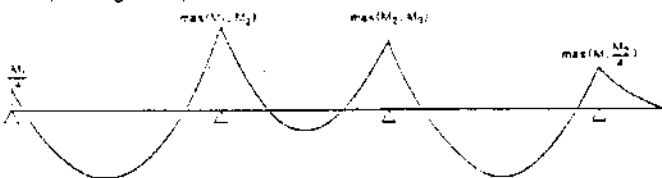
b) Como momentos negativos y cortantes, se adoptarán, al menos, los que resulten de trazar una única línea de cierre para todos los tramos que pase por los máximos momentos en apoyos interiores de los considerados en a), y en los extremos un momento no inferior a la cuarta parte del de vano.

c) Para voladizos, el máximo momento entre el que resulta de considerar su carga y luz, y la cuarta parte del positivo del vano colindante.

Los estados límites de utilización (fisuración y deformación) se estudiarán a partir del cálculo lineal o como simplificación a partir del diagrama de momentos indicado en b).



a) Diagrama para momentos positivos.



b) Diagrama para momentos negativos, esfuerzos constantes y deformación.

Fig. 6.2.a y 6.2.b DIAGRAMAS DE MOMENTOS

Cuando se adopta el método reflejado en las figuras 6.2.a y 6.2.b, no es preciso considerar la alternancia de la sobrecarga de uso si ésta no supera ni 200 kp/m<sup>2</sup> ni la tercera parte de la carga total.

**Comentarios:**

Cuando el forjado descansa en vigas planas o mixtas y éstas en soportes de ancho muy inferior al de las vigas, el elemento de apoyo que debe considerarse para medir la luz de cálculo es el soporte.

En el estudio de estados límites de utilización de forjados de viguetas pretensadas, se tendrá en cuenta que el uso de sopandas puede generar en el forjado, una vez descimbrado, estados tensionales más desfavorables de los que se deducirían de la consideración directa y única de la carga total. Tal efecto es tanto más importante cuando mayor es el peso propio respecto a la carga total y menor el número de sopandas por tramo. No obstante en los casos habituales, tal efecto es poco apreciable.

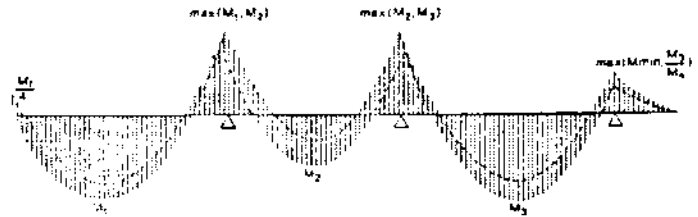


Fig. 6.2.c DIAGRAMA DE MOMENTOS FLECTORES ENVOLVENTES PARA EL CALCULO DE ARMADURAS

El redondeo parabólico del vértice del diagrama de los momentos flectores negativos, en el caso de vigas planas, o cabezas de vigas mixtas de ancho importante, sólo puede hacerse si se considera simultáneamente el efecto de concentración de esfuerzos en las proximidades del soporte; hecho éste especialmente importante cuando el soporte es de anchura muy inferior a la de la viga.

**6.3 Comprobación de estados límites.**

**6.3.1 Secciones para el cálculo.**

En el cálculo de los forjados con piezas de entrevigado resistentes, tanto para estados límites últimos, como para los de utilización, pueden considerarse formando parte de la sección resistente los tabiquillos de las piezas en contacto con el hormigón.

Las zonas de hormigón «in situ», situadas bajo un ancho de paso menor de 2 centímetros o del tamaño máximo del árido, no se considerarán en el cálculo a ningún efecto (figura 4.1.a).

**Comentarios:**

Para considerar otras partes de las piezas de entrevigado, será preciso justificar experimentalmente su colaboración.

No se comete error apreciable si se adopta para el módulo de deformación de la cerámica el mismo que el del hormigón «in situ».

**6.3.2 Estados límites últimos bajo solicitaciones normales.**

Para el análisis de forjados de piezas pretensadas, se tomarán como pérdidas todas las indicadas en párrafo 2.3 y en párrafo 5.2, para el tiempo de 10<sup>6</sup> horas, en cualquier caso, y para acero de relajación R-5, no podrán considerarse, salvo justificación especial, pérdidas inferiores a los valores de la tabla siguiente.

*Pérdidas totales mínimas, en porcentaje, para acero R-5*

Cuantía geométrica total de la vigueta	Excentricidad relativa al radio de giro (e/i) de la fuerza de pretensado de la pieza					
	Tanto por mil	0	0,2	0,4	0,6	0,8
2	17	17	18	18	19	19
4	20	20	21	23	25	28
6	23	24	25	27	31	34
8	27	28	29	32	35	41
10	31	32	33	36	41	-
12	34	36	37	40	-	-

**Comentarios:**

Si se emplea curado térmico acelerado puede considerarse nula la pérdida por relajación de la armadura, posterior a la transferencia.

**6.3.3 Estados límites últimos de solicitaciones tangenciales.**

En forjados con viguetas armadas sin armadura transversal deberá comprobarse que en toda sección el esfuerzo cortante de cálculo  $V_d$  verifica:

$$V_d \leq V_{ul}$$

adoptando para  $V_{ul}$  el valor:

$$V_{ul} = 2 f_{cv} \cdot b_1 \cdot d$$

Previo justificación experimental, puede aumentarse  $V_{ul}$  hasta el valor:

$$V_{ul} = \xi (1 + 50\rho) f_{cv} \cdot b_1 \cdot d$$

siendo:

$f_{cv}$  = resistencia virtual a esfuerzo cortante, de acuerdo con el artículo 39 de la EH vigente.

$b_1$  = ancho considerado, incluyendo los tabiquillos en contacto con el hormigón de las piezas de entrevigado si éstas son resistentes.

$d$  = canto útil del forjado (distancia entre la fibra más comprimida y el centro de gravedad de la armadura situada en la zona de tracción).

$\xi = 1,6 - d$ , factor adimensional, con  $d$  en metros.

$(1 + 50p)$  = factor adimensional no mayor de 2, función de la cuantía geométrica  $p$  de la armadura de tracción  $A_s$ , del valor:

$$p = \frac{A_s}{b_1 \cdot d} \cdot \frac{f_{yk}}{4100}$$

$f_{yk}$  = límite elástico característico del acero traccionado en  $kp/cm^2$

En cada comprobación con un ancho  $b_1$  se adoptará para  $f_{cv}$  el valor que corresponda al hormigón de dicho nivel; y cuando la sección corte a dos hormigones se tomará bien el ancho del prefabricado con su resistencia, o bien el ancho total con la resistencia del hormigón «in situ».

Los forjados con viguetas pretensadas pueden comprobarse como si fueran armadas o utilizar las expresiones de la instrucción EP en vigor.

En los forjados de viguetas armadas con armadura transversal, esta sólo podrá considerarse que colabora en la resistencia a cortante según el artículo 39.1.4.2 de la instrucción EH en vigor, si se encuentra eficazmente anclada encima de la sección analizada, lo que en el caso de celosías electrosoldadas a un redondo superior, puede suponerse que sucede a 2 centímetros por debajo de éste (figura 6.3.3.b).

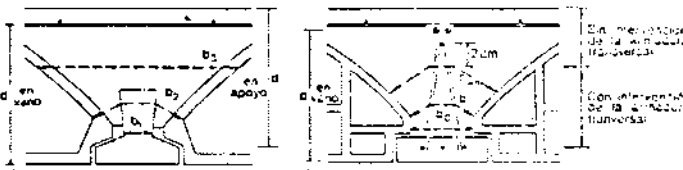


Fig. 6.3.3.a y 6.3.3.b COMPROBACIÓN DE ESFUERZO CORTANTE.

Los forjados con viguetas pretensadas se comprobarán según el artículo 48 de la instrucción EP en vigor aunque, como simplificación, puede utilizarse la misma expresión que para viguetas armadas.

Además, tanto con viguetas armadas como pretensadas, en toda sección que contenga superficies de contacto entre hormigón «in situ» y hormigón prefabricado (figura 6.3.3.c) deberá comprobarse también que:

$$V_d \leq V_{u2}$$

$$V_{u2} = \beta p d f_{cv}$$

Siendo:

- $f_{cv}$  = Resistencia virtual a esfuerzo cortante del hormigón «in situ».
- $p$  = Perímetro crítico a rasante de la superficie de contacto (figura 6.3.3.c), incluyendo si es preciso zonas de hormigón «in situ».
- $\beta$  = Factor de valor 1,2 para superficies rugosas eficazmente engarzadas en cola de milano, y 0,6 para el resto de los casos, en particular, para superficies encofradas con molde liso.
- $d$  = Canto útil de la sección (figuras 6.3.3.a y 6.3.3.b).

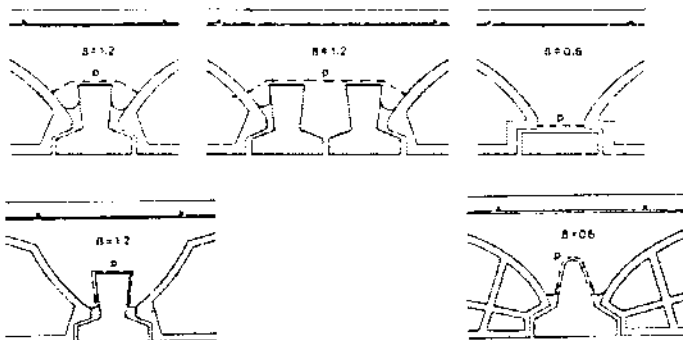


Fig. 6.3.3.c COMPROBACIÓN EN EL PERÍMETRO DE CONTACTO ENTRE HORMIGONES

Podrán emplearse valores de  $V_{u2}$  superiores a los indicados, justificándolos mediante resultados de ensayo que reproduzcan las peores condiciones que puedan presentarse dentro del campo de utilización del forjado en cuestión.

Comentarios:

Las expresiones de comprobación a esfuerzo cortante son las mismas en el caso de hormigón armado o pretensado, dado que el cortante máximo se presenta en los extremos y en ellos no se ha transmitido completamente al hormigón la fuerza de pretensado. En cualquier caso,

puede hacerse un cálculo más preciso cuando se trate de viguetas pretensadas utilizando las expresiones generales de la instrucción EP vigente.

En la mayoría de los casos los valores  $b_1$  que hay que considerar son aquellos en los que la anchura, para cada tipo de hormigón, es mínima. En las figuras 6.3.3 se representan los casos más usuales.

Si la celosía no posee una armadura superior sólo puede colaborar a esfuerzo cortante por debajo de su longitud de anclaje.

Las expresiones donde interviene  $b_1$  se han deducido suponiendo que el ancho o perímetro que se considera está completamente dentro de la zona traccionada. Si el perímetro entra en zona comprimida puede hacerse un estudio especial.



Fig. 6.3.3.d ANCHOS PARA COMPROBACIÓN DE ESFUERZO CORTANTE

De acuerdo con el párrafo 6.3.1 en el concepto de perímetro crítico no pueden computarse las zonas por debajo de un ancho de paso de 2 centímetros o del tamaño máximo del árido.

6.3.4 Estados límites de fisuración:

En forjados con viguetas armadas, y en la cara superior de los forjados con viguetas pretensadas, la comprobación de las condiciones de fisuración se rige por el artículo 44 de la instrucción EH vigente.

Los forjados con viguetas pretensadas, para prevenir los efectos de la fisuración ante momentos positivos, se diseñarán de forma que, bajo carga total, y en la hipótesis de no colaboración del hormigón «in situ» por debajo de la línea neutra, se verifique (figura 6.3.4.a):

1. En ambientes tipo III no se sobrepasa el estado límite de descompresión de la viga, caracterizado por la existencia en ésta de una fibra con tensión nula.
2. En ambientes tipo II no se sobrepasa el estado límite de aparición de fisuras en la viga, caracterizado por la existencia en ésta de una fibra con tensión de tracción de valor igual a  $0,45 \sqrt[3]{f_{ck}^2}$  (ambas en  $kp/cm^2$ ).
3. En ambientes tipo I no se llega al estado de fisuración controlada en la viga, caracterizado por la aparición en ésta de una tensión de tracción de valor igual a  $0,68 \sqrt[3]{f_{ck}^2}$  (ambas en  $kp/cm^2$ ).

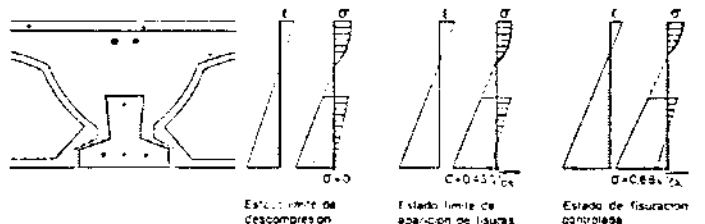


Fig. 6.3.4.a ESTADOS LÍMITES DE FISURACIÓN EN FORJADOS PRETENSADOS

6.3.5 Estados límites de deformación:

1. Cálculo de la flecha: El cálculo de las deformaciones de los forjados se hará atendiendo a los criterios establecidos en el artículo 45 de la EH vigente, teniendo en cuenta tanto los efectos instantáneos, como los diferidos, de acuerdo con las características de los materiales y de las secciones, y los efectos de retracción y fluencia correspondientes. Dentro del cálculo de flechas debe distinguirse:

- Flecha total a plazo infinito, producida por la totalidad de las cargas actuantes. Esta formada por la flecha instantánea producida por todas las cargas, más la flecha diferida producida por las cargas permanentes a partir de su actuación.
- Flecha activa respecto a un elemento dañable es la producida a partir del instante en que se construye dicho elemento. Su valor es igual, por tanto, a la flecha total a plazo infinito menos la ya producida en el instante en que se construye el elemento.

2. Deformaciones admisibles: Las deformaciones calculadas deben cumplir las siguientes condiciones:

- Si el forjado sustenta, o descansa, en elementos no estructurales, la flecha activa se limitará a:

a) Para forjados en general que sustentan tabiques y particiones con ladrillos cerámicos recibidos con morteros o pastas de yeso:

$$\frac{L}{400} \text{ y } \frac{L}{300} + 0,6 \text{ cm.}$$

b) Si el forjado sustenta, o descansa, en otros elementos especialmente sensibles (tabiques muy rígidos, muros de cerramientos de fábrica, etc.):

$$\frac{L}{500} \text{ y } \frac{L}{1000} + 0,5 \text{ cm.}$$

- Si el forjado no sustenta, ni descansa, en elementos constructivos diferentes de los estructurales, la flecha total a plazo infinito no superará

$$\frac{L}{250} \text{ ni } \frac{L}{500} - 1 \text{ cm.}$$

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

3. Canto mínimo: Sin perjuicio de lo expuesto en el punto anterior, el canto de los forjados que verifiquen todas las condiciones siguientes

- Forjados con sobrecarga de uso asimilable a carga uniformemente repartidas no superiores a 300 kp/m<sup>2</sup>, o garajes-aparcamientos destinados exclusivamente a turismos.
- Forjados con sobrecarga de uso asimilable a cargas uniformes.
- Luces contiguas equilibradas.
- Armado estricto del forjado ( $A_s = A_{s, nec}$ ).

no será inferior al definido en la tabla adjunta, salvo comprobación experimental previa de que no se producen flechas perjudiciales ni vibraciones incómodas para el usuario.

*Canto mínimo de forjados*

Tipo de tramo	Aislado		Continuo				Voladizo	
			Extremo		Interior			
Sustentación	Apoyados				Empotrado			
Acero*	AEH500	AEH400	AEH500	AEH400	AEH500	AEH400	AEH500	AEH400
De cubierta, sin elementos dañables inferiores	L/26	L/27	L/29	L/30	L/34	L/35	L <sub>0</sub> /10	L <sub>0</sub> /11
De piso, con elementos dañables	L/22	L/24	L/26	L/28	L/29	L/31	L <sub>0</sub> /9	L <sub>0</sub> /9
De piso, con elementos muy dañables o muros	L/20	L/22	L/22	L/24	L/27	L/29	L <sub>0</sub> /8	L <sub>0</sub> /8

\* El tipo de acero es el de la armadura inferior para viguetas armadas, y el de la superior para el caso de viguetas pretensadas

Por luces contiguas equilibradas se entenderán las del mismo tipo de sustentación que no difieren entre sí más de un 20 por 100 de la mayor, tramos extremos con luz entre el 60 y el 70 por 100 de la luz contigua interior, y voladizos en torno al tercio de la luz contigua.

Si se disponen nervios cuyo ancho total sea, al menos, un 20 por 100 del interje entre nervios, los valores de la tabla pueden disminuirse en un 10 por 100.

Si la armadura real es superior a la calculada podrá adoptarse como canto mínimo el de la tabla multiplicado por el factor  $\sqrt{A_{s, nec}/A_s}$ .

**Comentarios:**

1. Dado que los forjados construidos con elementos pretensados incorporan hormigón in situ y, en general, poseen continuidad, el cálculo de flechas se rige por la EH vigente pudiendo tomarse para inercia equivalente en la sección central a momentos positivos la correspondiente a la sección de la vigueta completa sin fisurar.

La flecha activa, de acuerdo con el articulado, está formada por parte de las flechas diferidas a plazo infinito de las cargas que actúan antes de la construcción del elemento, las instantáneas y diferidas de todas las cargas permanentes que actúan después de la construcción del elemento, y las instantáneas de la sobrecarga de uso y otras cargas no permanentes.

Si el solado se construye después de los tabiques su peso produce flecha activa sobre éstos. Si se acopia en cada planta los materiales de solado, cerramiento y/o tabiquería antes de construir los elementos dañables, no forma parte de la flecha activa la instantánea debida a dichas cargas.

Dado que la formulación general de la instrucción EH supone sección constante y monolítica, para la estimación de las inercias en las zonas de momento negativo se toma la sección y momento al borde de la zona macizada si ésta existe.

Por el mismo motivo si la armadura comprimida es variable de unas secciones a otras debe adoptarse para el cálculo un valor medio.

A efectos prácticos se puede adoptar generalmente como flecha el descenso del punto medio de la luz.

2. Las limitaciones de flecha del articulado pueden aconsejar al proyectista la inclusión en el proyecto de prescripciones relativas al proceso de construcción.

Se deberá cuidar, a través de la definición del proceso de construcción, que no se generen acumulaciones de carga de unos pisos a otros, hecho especialmente delicado en el caso de voladizos con muro de cerramiento en su extremo.

La especial sensibilidad de los voladizos en este tema es lo que justifica en el articulado adoptar como luz equivalente 1,6 veces la real.

3. De acuerdo con el articulado, la existencia en una planta de un tramo de luz o sustentación muy diferente, permite utilizar el mismo

canto que en el resto, siempre que posea mayor armadura que la estrictamente necesaria por resistencia.

**7. Disposiciones constructivas.**

**7.1 Enlace de los nervios al apoyo.**

Los nervios de un forjado pueden descansar directamente sobre un elemento de apoyo, como en el caso de ser éste un muro o una viga de canto netamente superior al del forjado o indirectamente, prolongándose en una viga plana (cabeza de viga mixta, brochal, etc.) del mismo canto que el del forjado (figura 7.1.a).

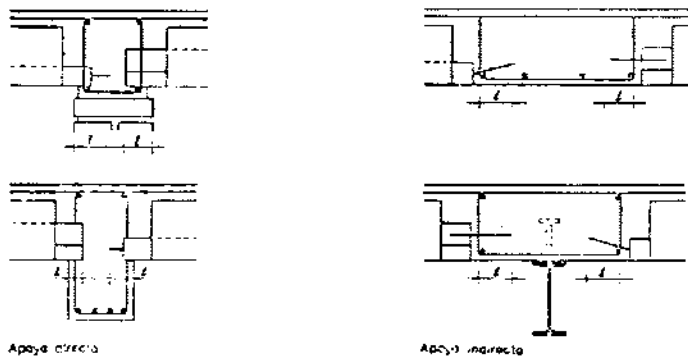


Fig. 7.1.a TIPOS DE APOYO

La armadura inferior que llega al extremo debe anclarse una longitud l correspondiente al anclaje de una tracción de valor igual al esfuerzo cortante en el caso de apoyos exteriores (en los que el momento flector se supone nulo), e igual a la mitad del esfuerzo cortante en el caso de apoyos interiores sometidos a momentos negativos.

Dicha longitud se medirá desde la cara del apoyo, en los casos de apoyo directo, y del estribo de la viga, zuncho o cabeza comprimida, en los casos de apoyo indirecto.

Si los nervios se construyen in situ, la longitud se conseguirá por prolongación de la armadura, o si los nervios están formados por viguetas, por entrega de la propia vigueta o por armadura pasiva adosada a cada vigueta y solapada con ella (figura 7.1.b).

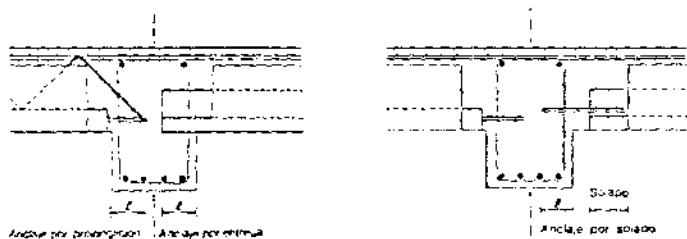


Fig. 7.1.3 ANCLAJE DE LAS VIGUETAS

Si el anclaje de una vigueta pretensada se realiza por entrega de la misma, debe adoptarse para la longitud  $l$ , en alambre liso de  $\phi < 3$  milímetros o alambres grafilados de  $\phi < 5$  milímetros, no menos de 10 centímetros en apoyos exteriores ( $M=0$ ) y no menos de 6 centímetros en apoyos interiores ( $M < 0$ ).

El anclaje por prolongación de la armadura no puede hacerse si ésta es alambre trefilado liso, o si siendo grafilado o torzal, éste no cumple la condición de alta adherencia del artículo 9 de la instrucción EH vigente.

Si el nervio o vigueta posee armadura transversal (estribos o celosía), ésta llegará, al menos, hasta la cara del apoyo si descansa directamente sobre él, o hasta el estribo de la viga plana o mixta si el apoyo es indirecto (figuras 7.1.a y 7.1.b).

En el caso de apoyo exterior (figura 7.1.b), indirecto o por solapo sin armadura transversal, es preciso garantizar el enlace de la vigueta en el extremo, bien por estribos «ad hoc», bien por eliminación de piezas de entrevigado y consiguiente macizado, en una longitud:

$$a = \frac{V_d}{2 h_1 \tau} \leq 10 \text{ cm}$$

siendo:

$h_1$  = Canto de la vigueta (figura 7.1.c).

$\tau$  = Resistencia a rasante, que, para piezas en cola de milano o engarzadas eficazmente al hormigón, puede suponerse igual al valor  $f_{cv}$  correspondiente al hormigón in situ.

La longitud «a» de macizado se ampliará, si fuere necesario, para permitir el anclaje por solapo de los redondos adosados (figura 7.1.c).

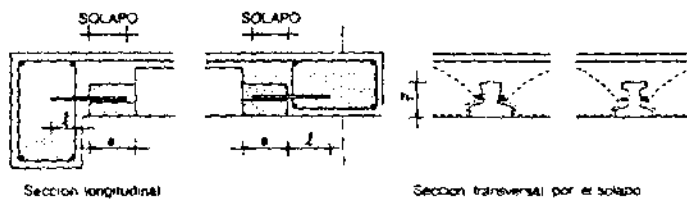


Fig. 7.1.c SUSPENSIÓN DE VIGUETAS POR SOLAPO

**Comentarios:**

Se recuerda que al apoyo exterior debe llegar, al menos, la tercera parte de la armadura inferior de vano, y al apoyo interior, al menos, la cuarta parte (artículo 40.1 de la instrucción EH en vigor), aunque la formulación de flecha del párrafo 6.3.5 esté basada en suponer que llega la mitad.

En el caso de existir momentos positivos en el extremo del nervio, como sucede en apoyos exteriores cuando dicho extremo acomete a una viga plana o mixta de anchura muy superior a la del pilar, debe garantizarse que el anclaje de la armadura es capaz de resistir la tracción originada por el momento flector que existe de esa sección, momento que, de acuerdo con el artículo 40 de la instrucción EH en vigor, se toma igual a  $M_d + V_d r$ .

Lo mismo sucede en el apoyo interior cuando, debido a acciones horizontales extremadamente fuertes, descenso de apoyos, etc., existan momentos positivos. Además, si en el plano del forjado hay sollicitación axial importante, como es el caso de elementos apantallados que exigen la colaboración del forjado, el anclaje de la armadura inferior deberá considerarse además la fracción de la sollicitación axial que sea pertinente.

Cuando el nervio acomete a una viga plana, zuncho o cabeza de vigas mixtas de ancho importante, se recuerda que según la instrucción EH vigente, artículo 39.13.23, los estribos de la viga deben soportar, además, la carga de suspensión hasta el eje de la viga.

Se hace notar que en ningún caso la viga podrá quedar debilitada por entrega de elementos o viguetas huecas.

Podrá no ser necesaria la disposición de macizado en la longitud «a», en los extremos sometidos a momentos negativos, si el nervio posee estribos que por sí solos son capaces de soportar la totalidad del cortante que actúa en dicho extremo. Sin embargo, aun cuando las viguetas

descansen directamente sobre el apoyo o posean armadura transversal, la buena práctica recomienda disponer, aunque se prolongue la armadura, una longitud de macizado de, al menos, 5 centímetros (figuras 7.1.a y 7.1.b).

Si para el anclaje se acude al sistema de redondos adosados, el valor de «a» viene obligado generalmente por la longitud de solapo con la vigueta.

Para formas de sección no engarzadas (figura 1.2.a, caso C) no es posible realizar un apoyo exterior indirecto o por solapo sin armadura transversal.

**7.2 Armadura superior.**

En todo caso, el cálculo de la armadura se hará para un paño de forjado y no para cada vigueta individualizada.

Los redondos superiores se dispondrán continuos sobre la viga o apoyo, y se anclarán adecuadamente en ambos extremos.

Conviene que las viguetas o nervios se dispongan completamente enfrentados en los apoyos interiores, pero puede admitirse una desviación «c» (figura 7.2.d) inferior a la distancia recta entre testas «s», en apoyos interiores, y hasta de 4 centímetros, en apoyos de voladizo.

En los casos en los que un forjado acomete a otro perpendicularmente, la armadura superior se anclará por prolongación recta (figura 7.2.a).

Si el forjado tras un voladizo posee los nervios perpendiculares al vuelo, la armadura superior se anclará por prolongación recta, abarcando, al menos, dos nervios consecutivos y se garantizará la resistencia a la compresión inferior adoptando macizados o disposiciones equivalentes (figura 7.2.b).

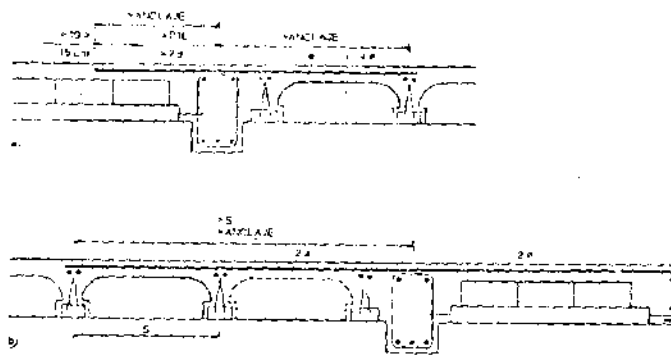


Fig. 7.2.a y 7.2.b ACOMETIDA TRANSVERSAL ENTRE FORJADOS

En los apoyos extremos, de acuerdo con párrafo 6.2, se dispondrá una armadura superior capaz de resistir un momento flector, al menos igual a la cuarta parte del de vano. Tal armadura se extenderá desde el eje del apoyo en una longitud no inferior al décimo de la luz, ni a dos cantos (figura 7.2.c). En el extremo exterior el anclaje se hará por prolongación vertical, con la reducción de longitud prevista en el artículo 40.3 de la instrucción EH en vigor.

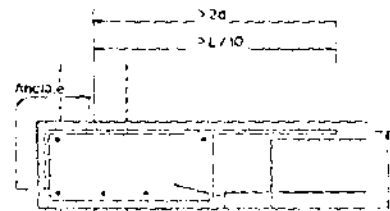


Fig. 7.2.c ANCLAJE DE ARMADURA SUPERIOR EN EXTREMO

**Comentario:**

Toda desviación «c» origina esfuerzos que se superponen a los de la viga, que pueden ser importantes si se rebasan las limitaciones del articulado.

Si la desviación «c» es menor de  $2 b_0$  (figura 7.2.d) la armadura superior puede disponerse sobre cada pareja de viguetas enfrentadas, pero siempre respetando los recubrimientos y resto de condiciones del artículo 39.13.4, de la instrucción EH en vigor.

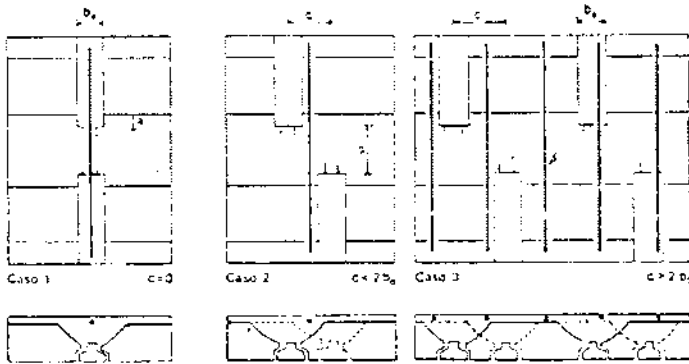


Fig. 7.2.d ENFRENTAMIENTO DE VIGUETAS

Si el voladizo no acomete contra un forjado su empotramiento será por torsión, disponiendo el anclaje sobre el elemento de apoyo.

En los casos en que la sobrecarga uniformemente repartida no sea superior a  $200 \text{ kp/m}^2$  ni a la tercera parte de la carga total, la armadura superior puede diseñarse como se indica en la figura 7.2.e teniendo en cuenta lo siguiente:

- Si la distancia entre extremos de barras en prolongación es inferior a  $0,2 L$  los redondos se dispondrán continuos sobre el vano; además,
- Los redondos serán de igual longitud a ambos lados del apoyo.
- Si los redondos son de distinto diámetro, el de más longitud será el de mayor diámetro.
- Un tramo adyacente a un voladizo sólo puede considerarse interior si el mínimo momento flector en el empotramiento del voladizo supera al del tramo.
- Si el tramo adyacente a un voladizo no puede considerarse interior la armadura se dispondrá según b) y c).

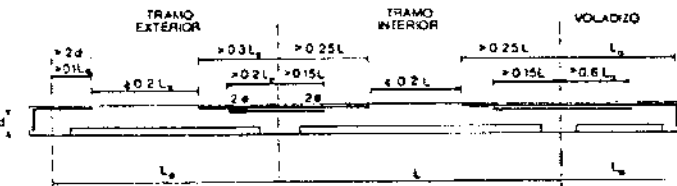


Fig. 7.2.e ARMADO EN FORJADOS USUALES

Si los nervios están formados por viguetas con armadura en celosía provista de un redondo superior, puede considerarse su solapo con la armadura superior.

## 8. Ejecución.

Durante la ejecución del forjado se respetarán las condiciones establecidas en artículos precedentes y todas las de las instrucciones EH y EP que sean de aplicación.

La colocación de las viguetas sobre el medio de transporte y en la obra, se hará de forma que no puedan producirse daños, cuidando el intervalo entre durmientes, su coincidencia en vertical y, la longitud de los vuelos.

Se mantendrán limpias evitando que se acumule sobre ellas la suciedad de la obra.

### Comentario:

El apilado de las viguetas se hará, en general, en posición de trabajo, separando en pilas distintas las que sean de diferente tipo y/o longitud.

Para la elevación de las viguetas con medios mecánicos se aconseja utilizar un útil rígido con dos o más puntos de apoyo, de acuerdo con la longitud del elemento, cuidando especialmente los vuelos resultantes.

## 9. Control.

### 9.1 Control de viguetas.

#### 9.1.1 Control de fabricación.

El conjunto de operaciones de fabricación de viguetas se supervisará de manera continua mediante la inspección diaria de técnico competente.

En las piezas de entrevigado, se controlará diariamente la resistencia en vano determinadas por inmersión en agua, al menos, durante 24 horas previas al ensayo, de seis piezas, apoyando la pieza en dos tabloncillos con entrega de un centímetro y aplicando la carga en el centro del vano mediante un tabicón de 5 centímetros de ancho. La carga de rotura deberá ser en todas ellas superior a 105 kp.

La resistencia a compresión de las piezas de entrevigado que se vayan a considerar como resistentes, se determinará en ensayo de carga paralela a los huecos sobre seis probetas de pieza entera o parte de pieza representativa, obtenida por corte de disco. La altura de la probeta no será inferior a ninguna de las dimensiones de la sección transversal, sin exceder dos veces la dimensión menor, refrentando adecuadamente las caras con pasta de azufre u otro sistema adecuado, ensayándose después de veinticuatro horas de inmersión en agua. Las seis piezas deberán romper a valores superiores a 1,05 veces la resistencia característica especificada referida a la sección neta.

### Comentario:

Los valores de rotura para determinar la resistencia en vano y a compresión de las piezas de aligeramiento, corresponden al valor de  $k_{\text{v}}$  del artículo 69.3.2 de la instrucción EH en vigor para seis piezas.

### 9.1.2 De la recepción.

En toda vigueta que llegue a obra se comprobará:

Que lleva grabado el código que identifica: fabricante, modelo y tipo, de acuerdo con la autorización de uso, y fecha de prefabricación.

Que viene acompañada de los certificados de garantía del fabricante. Que geométricamente verifica sus características reflejadas en la autorización de uso.

La compatibilidad entre viguetas y piezas de entrevigado para su utilización conjunta. (Figura 4.1.a.)

Se comprobará que el material recepcionado es el que corresponde al definido en los planos de obra. En otro caso, si el material puede aceptarse deberán reformarse los planos de obra, según se indica en párrafo 10.2.

## 9.2 Control del forjado.

### 9.2.1 Del control de los materiales.

Si en la obra se utilizan más de  $2.000 \text{ m}^2$  de forjado, aunque corresponda a diferentes autorizaciones de uso o de viguetas, se realizará un ensayo a pie de obra un forjado apoyado, de dos viguetas con sus correspondientes piezas de aligeramiento, y la combinación canto/luz más desfavorable de las que se usen en la obra. El ensayo debe comprobar que el forjado alcanza el momento de servicio sin presentar las fisuras inadmisibles señaladas en las instrucciones EH y EP que alcanza sin romper por flexión el momento de servicio multiplicado por el producto  $\gamma_f \gamma_s$  y por ningún motivo un momento igual al de servicio multiplicado por el producto  $\gamma_s \cdot \gamma_c$ . Este ensayo se repetirá si cambia el fabricante o del aspecto de la pieza puede deducirse que ha habido alteración de los materiales constituyentes. Si los elementos prefabricados poseen sello de calidad homologado por el Ministerio de Obras Públicas y Urbanismos, podrá elevarse a  $5.000 \text{ m}^2$  la necesidad de realizar el ensayo descrito en el párrafo anterior.

### Comentarios:

Para todo lo relativo a los componentes del hormigón in situ (cemento, agua, áridos y aditivos), así como del propio control del hormigón y armaduras, se seguirán las instrucciones EH y EP en vigor.

### 9.2.2 Del control de la ejecución.

Se prestará especial atención a la limpieza de las superficies de contacto, la compactación y relleno de hormigón in situ y se comprobará el espesor de la capa de compresión y la posición y fijación de las barras. Después de hormigonar, la flecha entre sopandas no será superior a un centímetro ni a  $L/500$ , siendo L la luz total del forjado. (Figura 4.1.b.)

### Comentarios:

Para la ejecución del forjado, rigen las prescripciones de las instrucciones EH y EP en vigor.

### 9.2.3 Pruebas de carga.

En cuanto a la recuperación en pruebas de carga, para los forjados en continuidad mediante armaduras pasivas, prevalecen los criterios del artículo 7.3.2 de la instrucción EH en vigor.

### Comentarios:

Para la realización de las pruebas de carga rigen las instrucciones EH y EP vigentes, teniendo en cuenta la edad del hormigón en el momento de hacerlas, cara a la interpretación de la prueba.

## 10. Documentación.

## 10.1 Autorización de uso.

Las viguetas prefabricadas que no lo sean a pie de obra deberán poseer la preceptiva autorización de uso. La Memoria de dicha autorización recogerá la justificación de los valores que en ella aparecen. En particular, cuando en el forjado se utilicen piezas cerámicas con función resistente, se hará constar en la Memoria la resistencia característica a compresión de dichas piezas, así como las hipótesis de cálculo admitidas y el sistema de transmisión de esfuerzo supuesto entre juntas.

## Comentarios:

La Autorización de uso a que se refiere el artículo es la publicada en Real Decreto 1630/1980 («Boletín Oficial del Estado» de 18 de agosto de 1980) y disposiciones que lo desarrollan.

## 10.2 Documentación del forjado.

Antes de comenzar la ejecución del forjado, deberán redactarse los planos correspondientes, que formarán parte del Proyecto de Ejecución, sin perjuicio de documentar con posterioridad los detalles de lo construido, caso de diferir con lo inicialmente previsto.

Dichos planos, deberán venir firmados por técnico competente y, en todo caso, por el Director de la obra.

## Comentarios:

La información necesaria para definir el forjado es, en general:

- El tipo de forjado, con indicación de cantos, separación de viguetas, forma y dimensiones de las piezas de entrevigado, espesor de la losa superior, detalles de zonas macizas, zunchos, cadenas de atado, detalles de enlaces, etc.
- Líneas de sopandas y normas de descimbrado.
- Armadura a colocar en obra en longitud, posición y diámetro.
- Cargas consideradas en el cálculo y expresamente el peso propio.
- Características de los materiales a disponer en obra, coeficientes de seguridad y niveles de control.

## 10.3 De la certificación final.

La documentación referente a la obra terminada incorporará copia de la autorización de uso, con resultados del control y planos actualizados de lo realmente ejecutado, si fuera necesario.

## MINISTERIO DE TRABAJO Y SEGURIDAD SOCIAL

**18671** ORDEN de 27 de julio de 1988 por la que se modifica la de 15 de octubre de 1985, sobre delegación de atribuciones en el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, modificada a su vez por la de 15 de julio de 1986.

El tiempo transcurrido desde la aprobación de la última delegación de atribuciones en este Ministerio y las modificaciones normativas habidas desde entonces en el ámbito de competencias del mismo, obliga a reconsiderar dicha delegación de atribuciones en relación con determinadas materias, sobre todo las que se refieren a la imposición de sanciones en el orden social.

Por otra parte, la Ley 4/1986, de 8 de enero, sobre cesión de uso del Patrimonio Sindical Acumulado, impone considerar las virtualidades de delegación respecto a cuestiones que en la citada Ley se contemplan atribuidas al titular del Departamento, que al no estar delegadas podrían incidir negativamente en su tramitación.

En su virtud, y al amparo de lo dispuesto en el artículo 22 de la Ley de Régimen Jurídico de la Administración del Estado, he tenido a bien disponer:

Artículo único.—La Orden de 15 de octubre de 1985, sobre delegación de atribuciones en el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, modificada, a su vez, por la de 15 de julio de 1986, se modifica, en virtud de la presente, en los siguientes términos:

1. Los apartados b) y j) del artículo 1.º quedan redactados de la siguiente forma:

«b) Las competencias que el ordenamiento jurídico atribuye al titular del Departamento en el ejercicio de la potestad sancionadora en materia de emigración, movimientos migratorios y trabajo de extranjeros entre 5.000.001 y 10.000.000 de pesetas, y la revisión administrativa de los actos dictados en esta materia con el límite de la cuantía referida en segundo lugar así como la revisión administrativa de las resoluciones dictadas en materia de personal.»

«j) Las competencias relativas al Patrimonio Sindical Acumulado y al de la Seguridad Social, con excepción de las cesiones previstas en la Ley 4/1986, de 8 de enero.»

2. El apartado a) del artículo 2.º queda redactado de la siguiente forma:

«a) Las competencias que el ordenamiento jurídico atribuye al titular del Departamento en el ejercicio de la potestad sancionadora en materia laboral, de seguridad e higiene y salud laborales, empleo y prestaciones por desempleo entre 5.000.001 y 10.000.000 de pesetas, y la revisión administrativa de los actos dictados en esta materia con el límite de la cuantía referida en segundo lugar.»

3. El apartado b) del artículo 3.º queda suprimido, y el apartado c) del mismo artículo queda redactado de la forma siguiente:

«c) Las competencias que el ordenamiento jurídico atribuye al titular del Departamento en el ejercicio de la potestad sancionadora en materia de seguridad social entre 5.000.001 y 10.000.000 de pesetas, y la revisión de los actos dictados en esta materia con el límite de la cuantía indicada.»

4. El artículo 5.º bis) queda redactado de la forma siguiente:

«Artículo 5.º bis). Se delegan por el titular del Departamento en el Director general de Cooperativas y Sociedades Laborales las atribuciones que el ordenamiento jurídico le confiere en el ejercicio de la potestad sancionadora en materia de cooperativas hasta el límite de 1.000.000 de pesetas, y la revisión administrativa de los actos dictados en esta materia con el límite de la cuantía indicada.»

5. El apartado b) del artículo 12 queda redactado de la forma siguiente:

«b) Autorización de los gastos del capítulo I, sin límite de cuantía y de los demás gastos hasta 10.000.000 de pesetas.»

6. El punto 3 del artículo 13 queda redactado de la siguiente forma:

«3. La firma de las nóminas correspondientes a los Servicios Centrales del Departamento, así como la tramitación de las cuentas justificativas de indemnizaciones por razón de servicio, nóminas, pago de facturas o certificaciones de obras, servicios o suministros y concesiones de pagos adelantados, todo ello referido a gastos previamente acordados con cargo a créditos de los Presupuestos Generales del Estado.»

7. El artículo 16 queda redactado de la siguiente forma:

«Artículo 16. Se aprueba la delegación del Director general de Cooperativas y Sociedades Laborales en los Directores Provinciales del Departamento de las competencias que el ordenamiento jurídico atribuye a aquél en el ejercicio de la potestad sancionadora hasta el límite de 500.000 pesetas.»

## DISPOSICION FINAL

La presente Orden entrará en vigor el día siguiente al de su publicación en el «Boletín Oficial del Estado».

Madrid, 27 de julio de 1988.

CHAVES GONZALEZ

Ilmos. Sres. Subsecretario, Secretarios generales, Secretario general técnico, Directores generales y provinciales del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social.

## MINISTERIO DE RELACIONES CON LAS CORTES Y DE LA SECRETARIA DEL GOBIERNO

**18672** REAL DECRETO 825/1988, de 15 de julio, por el que se regulan los fines de interés social de la asignación tributaria del Impuesto sobre la Renta de las Personas Físicas.

La disposición adicional quinta, apartado uno, de la Ley 33/1987, de 23 de diciembre, de Presupuestos Generales del Estado para 1988, establece con carácter permanente que «en ejecución de lo previsto en el artículo II del Acuerdo entre el Estado Español y la Santa Sede sobre Asuntos Económicos, de 3 de enero de 1979, a partir de 1988 se